Stanford University Libraries
3 6105 000 677 240

530.5
A613
a

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

ERGÄNZUNGSBAND III.

Digitized by Google

ANNALEN

DER

PHYSIK

UND

CHEMIE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

ERGÄNZUNGSBAND III.

(NACH BAND LXXXVII EINZUSCHALTEN.)

NEBST FÜNF KUPFERTAFELN.

LEIPZIG, 1853.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Digitized by Google

111608

Digitized by Google

Inhalt

des Ergänzungsbandes III der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

Seite

I. Zwei und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday. 1

§. 28. Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper, und über ihre Beziehung zur magnetischen Kraftform.

II. Fortsetzung der zwei und zwanzigsten Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von M. Faraday. 28

§. 28. (Fortsetzung.) Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper, und über ihre Beziehung zur magnetischen Kraftform.

III. Vier und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von M. Faraday. 64

§. 30. Ueber den möglichen Zusammenhang der Schwerkraft mit der Elektricität.

IV. Fünf und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von M. Faraday. 73

§. 31. Ueber den magnetischen und diamagnetischen Zustand der Körper.

V. Sechs und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von M. Faraday. 108

§. 32. Magnetisches Leitvermögen S. 108. — §. 33. Atmosphärischer Magnetismus S. 130.

VI. Bemerkungen über einige physische Eigenschaften der Körper; von J. A. Groshans. 146

VII. Versuche über die thermo-elektrische Kraft des krystallisirten Wismuths und Antimons; von J. Svanberg. 153

VIII. Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls in Eisen; von Wertheim und Breguet. 157

IX. Aeltere Beobachtungen über den Gang des Pendels, gemacht von den Mitgliedern der *Accademia del Cimento*. 159

Digitized by Google

Zweites Stück.

Seite

I. Ueber den Humit und den Olivin des Monte Somma; von Arcangelo Scacchi. 161

II. Sechs und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday. 187
(Atmosphärischer Magnetismus. — Schluſs.)

III. Ueber die Reflexion an der Oberfläche durchsichtiger Körper; von J. Jamin. 232

IV. Ueber die Reflexion an der Oberfläche von Flüssigkeiten; von Demselben. 269

V. Beiträge zur Analyse einiger Metalllegirungen; von C. Brunner. 289

VI. Ueber die Anwendung der Sirene und des akustischen Flugrädchens zur Bestimmung des Spannungsgrades der Wasserdämpfe und der comprimirten Luft; von Ch. Doppler. 300

VII. Ueber die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum, wie sie sich dem unbewaffneten Auge zeigen; von O. J. Broch. . . . 311

VIII. Methode zur genauen Bestimmung der Lufttemperatur; von E. Liais. 316

IX. Ueber ein neues Scalenoëder des Eisenglanzes; von N. v. Kokscharow. 320

Drittes Stück.

I. Bemerkungen über das absolute Gewicht der atmosphärischen Luft in Berlin, so wie über die Vergleichung der preufsischen Maafse und Gewichte mit dem französischen und englischen; von W. Lasch. 321

II. Beobachtungen über die Elasticität der Metalle, angestellt von A. W. Napiersky 351

III. Ueber die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes in Telegraphendrähten; von B. A. Gould, jun. 374

IV. Ueber die Polarisation der Wärme durch einfache Refraction; von F. de la Provostaye und P. Desains. 411

V. Ueber die Reflexion der Wärme; von Demselben. 429

VI. Notiz über die Geschwindigkeit des Schalls in Stäben; von W. Wertheim. 438

VII. Ueber eine Beziehung zwischen der Farbe gewisser Flammen und den durch das Licht gefärbten heliographischen Bildern; von Niepce-de-Saint-Victor. 442

VIII. Ueber die Interferenzen des polarisirten Lichts; von E. Verdet. 451

IX. Ueber die Hypothesen vom Lichtäther und über einen Versuch, welcher zu beweisen scheint, dafs die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Innern der Körper fortpflanzt, durch deren Bewegung geändert wird; von H. Fizeau. 457

Digitized by Google

Seite

X. Chemische Untersuchung des Katapleiits, eines neuen Minerals von Lamö in Norwegen; von K. A. Sjögren. 465
XI. Neues Psychrometer; von H. Walferdin. 471
XII. Ein neuer Zerleger für elliptisch-polarisirtes Licht; von Stokes. 475
XIII. Notiz über den Sommit (Nephelin), Mizzonit und Mejonit; von Arcangelo Scacchi. 478
XIV. Notizen. 1. Formel für die Ausdehnung einiger Flüssigkeiten durch die Wärme; von W. J. Macquorn Rankine S. 479. — 2. Gesetz der Zusammendrückbarkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen; von Demselben S. 480.

Viertes Stück.

I. Sieben und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday. 481
Ueber den atmosphärischen Magnetismus, Fortsetzung.
II. Acht und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Demselben. 535
Ueber Magnetkraftlinien, ihren bestimmten Charakter und ihre Vertheilung im Magnet und im Raume.
III. Neun und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Demselben. 542
Ueber die Anwendung des inducirten magneto-elektrischen Stroms als ein Prüfmittel und Maafs der magnetischen Kräfte.
IV. Ueber die Farben dicker Platten; von G. G. Stokes. . . . 546
V. Betrachtungen über einige physische Eigenschaften der Körper, von J. A. Groshans, ... 596
VI. Ueber die Höhe der Gipfel des Monte-Rosa; von Adolph und Hermann Schlagintweit. 515
VII. Versuch, die Ursache der dynamischen Thermo-Elektricität zu erklären; von A. F. Svanberg. 621
VIII. Ueber das in Schlesien am 28. Sept. d. J. (1852) sichtbare Meteor. 630
IX. Nicht-Polarisation des Nordlichts; von W. J. M. Rankine. . 632

Digitized by Google

Nachweis zu den Kupfertafeln.

Taf. I. — Faraday, Fig. 1, S. 13; Fig. 2 u. 3, S. 14 u. 15; Fig. 4, S. 36; Fig. 5, S. 42; Fig. 6, S. 56; Fig. 7, S. 69; Fig. 8, S. 78; Fig. 9, S. 79; Fig. 10, S. 81; Fig. 11, S. 90; Fig. 12, S. 91; Fig. 13, S. 92; Fig. 14, S. 95; Fig. 15, S. 99; Fig. 16 u. 17, S. 113; Fig. 18, S. 118; Fig. 19, S. 120; Fig. 20, S. 121; Fig. 21, S. 122; Fig. 22, S. 140 u. 144; Fig. 23 u. 24, S. 146; Fig. 25, S. 201; Fig. 26, S. 208; Fig. 27, S. 211; Fig. 28, S. 218; Fig. 29, S. 483; Fig. 30, S. 483; Fig. 31, S. 484; Fig. 32, S. 489.

Taf. II. — Scacchi, Fig. 1, 2 u. 3, S. 162 u. 167; Fig. 4 u. 5, S. 171; Fig. 6 u. 7, S. 173 u. 175; Fig. 8, S. 173; Fig. 9, S. 172 u. 176; Fig. 10, S. 173 u. 175; Fig. 11 u. 12, S. 185 u. 186; Fig. 13 u. 14, S. 173; Fig. 15, S. 174; Fig. 16, 17 u. 18, S. 478.

Taf. III. — Faraday, Fig. 1, S. 197; Fig. 2, S. 200. — Jamin, Fig. 3, S. 240; Fig. 4 u. 5, S. 241; Fig. 6, S. 273. — Brunner, Fig. 7, S. 300.

Taf. IV. — Napiersky, Fig. 1, S. 354; Fig. 2 u. 3, S. 353. — Broch, Fig. 4, S. 312. — Gould, Fig. 5, S. 381; Fig. 6, S. 387. — Verdet, Fig. 7, S. 454; Fig. 8, S. 456.

Taf. V. — Faraday, S. 500, 511, 516, 521 und 529.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. III. ERGÄNZUNG. St. 1.

I. *Zwei und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser aus den *Phil. Transact. f.* 1849; ein kurzer Auszug davon findet sich schon in diesen Ann. Bd. 76, S. 144 [1]). Was die früheren Abhandlungen betrifft, so giebt über die ersten achtzehn der Registerband dieser Annalen den nöthigen Nachweis; die neunzehnte steht im Bd. 68 (S. 105), die zwanzigste im Bd. 69 (S. 289) und die ein und zwanzigste im Bd. 70 (S. 24). Auch ist die drei und zwanzigste schon im Bd. 82 (S. 75 und 232) gegeben worden.)

§. 28. Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper und über ihre Beziehung zur magnetischen Kraftform.

2454. Manche der bei Einwirkung des Magnets auf Wismuth erhaltenen Resultate haben mich zu verschiedenen Zeiten stutzig gemacht und genöthigt, bei einer unvollständigen Erklärung stehen zu bleiben oder sie einer künftigen Untersuchung zu überlassen. Gegenwärtig habe ich diese Untersuchung wieder aufgenommen und bin dadurch zur Entdeckung der folgenden Resultate gelangt. Ich kann jedoch nicht besser auf den Gegenstand eingehen als

1) Wir überliefern diese Abhandlung hier ausführlich, ungeachtet die Arbeiten von Plücker (Ann. Bd. 72, S. 315 und 343; Bd. 76, S. 576; Bd. 77, S. 447; Bd. 78, S. 421); Plücker und Beer Bd. 81, S. 115 und Bd. 82, S. 42) und Knoblauch und Tyndall (Ann. Bd. 79, S. 233 und Bd. 81, S. 481) den Gegenstand zum Theil schon weiter geführt haben, um die Sammlung der in das Gebiet der Elektricität einschlagenden Untersuchungen des grofsen britischen Physikers den Annalen in Vollständigkeit zu erhalten. P.

Digitized by Google

durch eine kurze Beschreibung der vorkommenden Anomalien, die man nach Belieben erhalten kann.

2455. Wenn man sauberes gutes Wismuth in dem mittleren kugelförmig ausgeblasenen Theil einer offenen [1]) Glasröhre mittelst einer Weingeistlampe zum Schmelzen bringt, und es dann, durch Umwenden der Vorrichtung, in den röhrenförmigen Theil versetzt, so erhält man es leicht in langen Cylindern, die sehr blank sind und beim Zerbrechen krystallinisch erscheinen, gewöhnlich mit Spaltungsebenen in der Quere. Ich bereite sie von 0,05 bis 0,1 Zoll im Durchmesser, und wenn das Glas dünn ist, breche ich es zusammen mit dem Wismuth durch, und hebe die kleinen Cylinder in ihrer Glashülle auf.

2456. Als ich aufs Gerathewohl einige dieser Cylinder nahm, und horizontal zwischen den Polen eines Elektromagnets (2247) aufhing, zeigten sich folgende Erscheinungen. Die ersten stellten sich axial, die zweiten aequatorial, die dritten, in einer Lage aequatorial und, wenn sie 50° bis 60° um ihre Axe gedreht wurden, schief, die vierten, unter denselben Umständen, aequatorial und axial; bei senkrechter Aufhängung stellten sie sich alle gut vibrirend um eine endliche feste Lage, welche keine Beziehung zu der Gestalt der Cylinder zu haben schien. In allen diesen Fällen war das Wismuth stark diamagnetisch (2295 etc.), indem es von einem einzelnen Magnetpol abgestofsen ward, und zwischen zwei Magnetpolen nach jeder Seite hin aus der axialen Linie wich. Ein ähnliches Stück feinkörniges oder granulirtes Stück Wismuth erlitt unter gleichen Umständen und zur selben Zeit eine ganz regelmäfsige Einwirkung, indem es die aequatoriale Stellung annahm (2253) wie es ein blofs diamagnetischer Körper thun mufs. Als Ursache dieser Abweichungen ergab sich zuletzt die regelmäfsig krystallinische Beschaffenheit der Metallcylinder.

I. Krystallpolarität des Wismuths.

2457. Einiges Wismuth wurde in der gewöhnlichen Weise krystallisirt, indem man es in einem sauberen eiser-

1) Wohl an einem Ende verschlossenen Glasröhre. P.

Digitized by Google

nen Löffel schmelzte, zum Theil erstarren liefs, und das Flüssige des Inneren ausgofs. So erhaltene Stücke wurden durch kupferne Hämmer und Werkzeuge zerschlagen, und diejenigen Krystallgruppen ausgelesen, bei denen sämmtliche Krystalle eine symmetrische Anordnung besafsen, also wahrscheinlich in gleicher Richtung wirkten. Wenn diese Stücke irgendwo mit dem eisernen Löffel in Berührung gewesen waren, wurden sie durch Abreiben mit Sandstein und Sandpapier gereinigt. So wurden leicht Stücke von 18 bis 100 Grm. erhalten.

2458. Der zuerst angewandte Elektromagnet war der schon beschriebene (2247), versehen mit beweglichen Endstücken, die konische, runde oder flache Pole darboten. Zur leichten und gegen magnetischen Einflufs gesicherten Aufhängung des Wismuths wurde gewöhnlich die folgende Vorrichtung gewählt. Ein einfacher Coconfaden, 12 bis 24 Zoll lang, der oben an einem passenden Gestelle hing, war unten an dem Ende eines dünnen geraden und wohl gereinigten Kupferdrahtes von 2 Zoll Länge befestigt; das untere Ende dieses Drahtes war zu einem Knöpfchen aufgewickelt und dort versehen mit einen Klümpchen Kitt aus 4 Th. weifsem Wachs und 1 Th. Canadabalsam. Der Kitt war weich genug, um bei Druck an jede trockne Substanz zu kleben, und doch so hart, dafs er Gewichte von 300 Gran und darüber trug. Diese Vorrichtung wurde zuvörderst allein dem Magnet ausgesetzt, um zu ermitteln, ob sie keine Einwirkung von demselben erleide, denn sonst wären die Resultate nicht zuverlässig gewesen.

2459. Ein Stück von ausgelesenem Wismuth (2457) 25 Gran schwer, wurde zwischen den Polen eines Magnets aufgehängt; es bewegte sich mit grofser Freiheit. Die es bildenden Würfel safsen, wie gewöhnlich, hauptsächlich in der zwei gegenüberliegende Ecken verbindenden Linie an einander, und diese Linie lag auch in der gröfsten Länge des Stücks. Sowie die Magnetkraft erregt ward, schwang das Wismuth stark um eine gewisse Linie, in welcher es zur Ruhe kam; aus derselben abgelenkt, kehrte es, los-

Digitized by Google

gelassen, in sie zurück, und stellte sich mit bedeutender Kraft, seiner gröfsten Länge nach, *axial*.

2460. Nun wurde ein anderes Stück von flacherer Form ausgelesen; der Magnetkraft unterworfen, stellte es sich mit gleicher Kraft und Leichtigkeit, aber, seiner gröfsten Länge nach, aequatorial; doch hatte die Linie, nach welcher die Würfel sich diametral an einander reihten, eine *axiale* Richtung. Andere Stücke von anderer Form oder durch Abreiben auf Stein in andere Formen gebracht, stellten sich alle gut ein, und nahmen zuletzt eine Lage an, die keine Beziehung zu dieser Form hatte, sondern offenbar von der krystallinischen Beschaffenheit der Substanz abhing.

2461. In allen diesen Fällen war das Wismuth diamagnetisch, ward stark von jedem Magnetpol abgestofsen oder aus der Axiallinie geworfen, und zwar nur bei Gegegenwart der Magnetkraft. Es begab sich in eine vollkommen bestimmte Lage und kehrte, aus ihr abgelenkt, immer dahin zurück, sobald die Ablenkung nicht über 90° hinausging; dann drehte es sich weiter und nahm eine neue, gegen die frühere, diametrale Lage an, die es mit gleicher Kraft und in gleicher Weise behauptete. Diese Erscheinung war bei allen Resultaten, über die ich berichten werde, die allgemeine; ich will sie mit den Worten, diametral, diametrale Einstellung oder Lage, bezeichnen.

2462. Die Erscheinung zeigt sich auch bei einem einzelnen Magnetpol und es ist dann auffallend, zu sehen, dafs eine so diamagnetische Substanz wie Wismuth abgestofsen wird, und sich doch zugleich mit Kraft in die axiale Lage dreht, wie es eine magnetische Kraft thun würde.

2463. Diese Wirkung auf das Wismuth ist gleich, die angewandten Magnete (2358) mögen spitz, rund oder flach seyn; defsungeachtet hat die Gestalt der Pole einen wichtigen Einfluss untergeordneter Art und einige Gestalten eigenen sich mehr als andere zu diesen Untersuchungen. Bei Anwendung zugespitzter Pole divergiren die Magnetkraftlinien (2149) rasch, und die Kraft nimmt nach der Mitte des Abstandes von jedem Pole hin ab. Allein bei

Digitized by Google

Anwendung flacher Pole giebt es, obwohl die Kraftlinien gekrümmt, und an und nach den Enden der Flächen hin von verschiedener Stärke sind, doch in der Mitte des magnetischen Feldes einen Raum, wo diese Linien als parallel und überall als von gleicher Stärke betrachtet werden können. Sind die Flächen der Pole quadratisch oder kreisrund, und stehen sie um etwa ein Drittel ihres Durchmessers aus einander, so hat dieser Raum von gleichförmiger Kraft eine bedeutende Ausdehnung. Bei meinem Versuche ist der centrale oder axiale Theil des Magnetfeldes merklich schwächer als der ihn umgebende Theil; allein jede Polfläche hat in der Mitte ein kleines Schraubenloch zur Befestigung anders gestalteter Enden.

2464. Nun ist es Gesetz bei der Wirkung des Wismuths als eines *diamagnetischen* Körpers, dafs es von stärkeren zu schwächeren Orten der Magnetkraft (2267. 2418) zu gehen strebt; allein als ein *magnekrystallischer* Körper ist es keinem Effect der Art unterworfen, und wird von Linien gleicher Kraft so stark wie von anderen afficirt. So scheint ein Stück amorphes Wismuth, in einem Magnetfelde von gleicher Kraft aufgehängt, seine diamagnetische Kraft gänzlich verloren zu haben, und keine andere Bewegung anzunehmen als die von der Torsion des Aufhängefadens oder von Luftströmen herrührende; allein ein Stück von regelmäfsig krystallisirtem Wismuth wird, unter gleichen Umständen, vermöge seiner magnekrystallischen Beschaffenheit, stark afficirt.

2465. Diefs giebt einem Magnetfelde von gleichförmiger Kraft einen grofsen Werth, und wenn daher bei Ausdehnung dieser Untersuchungen auf Körper von nur geringer Krystallkraft ein vollkommen gleichförmiges Feld erfordert würde, könnte man es leicht dadurch erhalten, dafs man die Polfläche etwas convex machte, oder an den Kanten mehr oder weniger abrundete. Die erforderliche Gestalt liefse sich durch Rechnung finden, oder in Praxis vielleicht besser durch einen kleinen Probecylinder von körnigem oder amorphem Wismuth oder von Phosphor.

Digitized by Google

2466. Hiezu mag noch bemerkt werden, dafs kleine Krystalle oder kleine Krystallmassen und zwar solche, die in ihrer allgemeinen Gestalt dem Würfel oder der Kugel nahe kommen, besser als grofse oder längliche Stücke sind, in sofern als solche Stücke, wenn Unregelmäfsigkeiten in der Stärke des Magnetfeldes vorkommen, weniger von ihnen ergriffen werden.

2467. Wenn sich ein Wismuthkrystall in einem Magnetfelde von gleichmäfsiger Stärke befindet, wird er gleich gut afficirt, er mag in der Mitte des Feldes oder einem der Magnetpole sehr nahe seyn, d. h. die Anzahl der Schwingungen scheint in gleichen Zeiten gleich zu seyn. Es erfordert indefs viel Sorgfalt diefs auf solche Weise auszumitteln, weil wegen des beiden Lagen instabilen Gleichgewichts in der aequatorialen Richtung, die Schwingungen in grofsen Bogen viel langsamer geschehen als die in kleinen, und es ist schwierig in verschiedenen Fällen die Bogen gleich zu halten.

2468. Das Wismuth mag in einem Felde von starker oder schwacher Magnetkraft befindlich seyn, die Magnetpole mögen dicht neben dem Stücke ruhen oder fünf, sechs und selbst zwölf Zoll aus einander gerückt seyn, das Wismuth mag in oder über oder unter der Linie des Kraftmaximums schweben, der elektrische Strom und folglich die Magnetkraft mag stark oder schwach seyn: stets erleidet das Wismuth, wenn überhaupt eine da ist, einerlei Einwirkung.

2469. Die Resultate sind insgesammt sehr verschieden von denen der diamagnetischen Action (2418), eben so wie von denen der gewöhnlichen magnetischen Action. Sie sind auch verschieden von denen, welche Plücker entdeckt und in seinen schönen Untersuchungen über den Zusammenhang der optischen Axen mit der magnetischen Action beschrieben hat, denn dort ist die Kraft aequatorial, während sie hier axial ist. So scheinen sie uns also eine neue Kraft oder Kraftform in den Körpertheilchen darzubieten, welche ich, der Bequemlichkeit halber, durch ein

Digitized by Google

neues Wort, durch: *Magnekrystallkraft* (*magnecrystallic force*) bezeichnen will.

2470. Die Richtung dieser Kraft ist, in Bezug auf das magnetische Feld, *axial* und *nicht aequatorial;* diefs ergiebt sich aus verschiedenen Betrachtungen. Als z. B. ein Stück regelmäfsig krystallisirtes Wismuth aufgehängt ward, stellte es sich ein. Es in dieser Lage haltend, wurde der Aufhängepunkt um 90 Grad in der Aequatorialebene (2252) fortgerükt, so dafs, als es wieder frei schwebte, die Linie durch den Krystall, welche zuvor horizontal in der Aequatorial-Ebene war, jetzt vertical stand; das Stück stellte sich wiederum ein und gewöhnlich mit mehr Kraft als zuvor. Die durch den Krystall gehende, mit der Magnetaxe coïncidirende Linie, kann nun als Kraftlinie angesehen werden; und wenn die Drehung um einen Viertelkreis in der Aequatorialebene auch wie oft wiederholt wird, fährt der Krystall dennoch fort, sich mit der angenommenen Kraftlinie, und zwar mit einem Maximum der Kraft, in die Magnetaxe zu stellen. Verschiebt man nun aber den Aufhängepunkt um 90 Grad in der Ebene der Axe, d. h. nach dem Ende der angenommenen Kraftlinie hin, so dafs, wenn der Krystall wiederum frei schwebt, diese Linie vertical ist, so äufsert der Krystall nur ein Minimum seiner eigenthümlichen Wirkung, indem er die Richtkraft fast oder ganz verloren hat und nur die gewöhnliche diamagnetische Kraft zeigt (2418).

2471. Wäre nun die Kraft aeqnatorial und polar gewesen, so würde ihr Maximum-Effect nicht durch eine Verschiebung des Aufhängepunkts um 90 Grad in der Aequatorial-, sondern durch eine gleiche Verschiebung in der Axial-Ebene hervorgebracht seyn, und eine gleiche Verschiebung nach der in der Axial-Ebene würde die Maximum-Kraft nicht gestört haben; wogegen eine einzige Verschiebung von 90° in der Aequatorial-Ebene die Kraftlinie in die Verticale gebracht, (wie beim Kalkspath in Plücker's Versuch) und die Wirkung auf ein Minimum oder auf Null reducirt hätte.

2472. Die Richtkraft so wie die Einstellung des Kry-

Digitized by Google

stalls ist also eine *axiale*. Diese Kraft hat ihren Sitz ohne Zweifel in den Theilchen des Krystalls. Sie ist eine solche, dafs der Krystall mit gleicher Leichtigkeit und Beständigkeit zwei diametrale Lagen annehmen kann, und zwischen diesen giebt es zwei aequatoriale Gleichgewichtslagen, die natürlich instabiler Natur sind. Sowohl bei diesen Erscheinungen als bei den gewöhnlichen der Krystallform ist jedes Ende der Masse oder ihrer Molecüle in allen Beziehungen dem anderen Ende gleich; und in vielen Fällen würden daher die Worte *axial* und *Axialität* bezeichnender seyn als die: *polar* und *Polarität*. Mir scheinen auch die ersteren Worte nützlicher zu seyn.

2473. Bei Versetzung des Wismuths in andere, also gezwungene Lagen bringt der Magnet, wie stark oder wie lang er auch wirken mag, keine Aenderung in dem Zustande oder der Gröfse und Richtung der Kraft desselben hervor.

2474. Es hält schwer die Lage dieser Kraft in Bezug auf den Krystall einfach zu beschreiben, obwohl es sehr leicht ist, sie experimentell zu ermitteln. Die Gestalt der Wismuthkrystalle soll die eines Würfels und die Primitivform ein Octaëder seyn; mir aber scheinen sie nicht Würfel, sondern entweder Rhomboëder oder rhombische, dem Würfel sehr nahe kommende Prismen zu seyn [1]). Meine Messungen waren sehr unvollkommen und meine Krystalle nicht regelmäfsig; allein als Durchschnitt aus mehreren Beobachtungen ergab sich die gegenseitige Neigung der Flächen zu $91\frac{1}{4}^{\circ}$ bis $88\frac{1}{4}^{\circ}$ und der Kanten einer Fläche zu $87\frac{1}{2}^{\circ}$ bis $92\frac{1}{2}^{\circ}$. Was auch die wahre Gestalt seyn möge, so ergiebt doch der blofse Anblick, dafs die Aggregatkraft Krystalle von mehr oder weniger rhomboëdrischer Gestalt mit rhombischen Flächen zu bilden strebt; und dafs diese Krystalle, gewöhnlich in Richtungen ihrer längsten Dimensionen, zu symmetrischen Gruppen verwachsen. Nun fällt die

1) Bekanntlich ist die Rhomboëdergestalt der Wismuthkrystalle auch schon von Prof. G. Rose näher bestimmt. (S. Ann. Bd. 77 S. 143.)

Digitized by Google

Linie der *Magne*krystallkraft fast immer zusammen mit dieser Richtung, wo sie sichtbar ist.

2475. Die *Spaltungsflächen* der Wismuthkrystalle stumpfen die Ecken ab und bilden ein Octaëder; sie sind indefs, nach meiner Erfahrung, nicht leicht zu erhalten, und nicht gleich blank und vollkommen. Ein Paar, oder häufiger noch, blofs eine dieser Flächen ist vollkommener als die übrigen, und diese, die vollkommenste Fläche, wird an der scharfen Ecke (2474) gebildet und ist ungemein leicht zu erkennen. Wenn ein Wismuthkrystall, der viele Spaltungsflächen darbietet, im diamagnetischen Felde aufgehängt wird, so wendet sich eine dieser Flächen gegen einen der Magnetpole, und die entsprechende Fläche, falls sie vorhanden ist, gegen den andern, so dafs die Linie der Magnekrystallkraft winkelrecht ist auf dieser Fläche. Diese Fläche entspricht einer derjenigen, welche ich schon als gewöhnlich die vollkommensten beschrieben habe, und sie stumpft die scharfe Ecke des Krystalles ab.

2476. Aus der Wismuthmasse schnitt man, mittelst kupferner Werkzeuge, einen einzelnen Krystall heraus, und rieb die Stellen, wo er angesessen hatte, mit Sandpapier ab, um ihn eine Würfelgestalt zu geben; vier seiner sechs Flächen waren natürlich. Eine der Ecken, in der muthmafslich die Linie der Magnekrystallkraft auslief, wurde abgestumpft; die Spaltungsfläche war, wie auch zu erwarten, blank und vollkommen. Als der Krystall, mit dieser Fläche vertical, im magnetischen Felde aufgehängt wurde, stellte er sich mit beträchtlicher Kraft ein, und zwar diese Fläche dem einen oder anderen Magnetpol zuwendend, so dafs die Magnekrystallaxe nun horizontal zu liegen und mit gröfster Kraft zu wirken schien. Wurde diese axiale Linie vertical, folglich die Fläche horizontal gestellt, so richtete sich der Krystall durchaus gar nicht. Als nun der Würfel nach einander an allen Ecken und Flächen aufgehängt wurde, stellte er sich mit mehr oder weniger Kraft ein, jedoch immer so, dafs die auf der Spaltungsfläche recht-

Digitized by Google

winkliche Linie (die also die Kraftlinie vorstellt) in derjenigen Vertical-Ebene lag, welche die Magnetaxe einschlofs. Wenn endlich die Spaltungsebene horizontal, also die Richtkraft vertical war, und man neigte sie ein wenig in gegebener Richtung, so liefs sich bewirken, dafs jeder beliebige Theil des Krystalls sich gegen die Magnetpole richtete.

2477. Eine Gruppe von Wismuthkrystallen, die an ihrem Scheitel eine einzelne kleine Spaltungsfläche besafs, gab dieselben Resultate.

2478. Bisweilen kamen Krystallgruppen (2457) vor, die nicht schienen sich in eine Lage bringen zu lassen, in welcher sie alle Richtkraft verloren, sondern die immer ein Minimum von dieser Kraft behielten. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, dafs alle diese Gruppen in der Anordnung ihrer Theile vollkommen symmetrisch gewesen seyn sollten; auffallender ist es vielmehr, dafs ihre Wirkung noch so entschieden war. Bei Wismuth und bei vielen anderen Körpern liefert vermuthlich die Magnetkraft eine wichtigere Anzeige von der wesentlich und wahrhaft krystallinischen Structur als es die Gestalt zu thun vermag.

2479. Wie schon angeführt, äufsert sich die Magnekrystallkraft nicht durch Anziehung oder Abstofsung, oder wenigstens bewirkt sie keine Annäherung oder Entfernung, sondern sie verleiht nur Richtung. Das Gesetz der Wirkung scheint darin zu bestehen, *dafs die Linie oder Axe der Magnekrystallkraft* (als der Resultanten der Wirkung der Molecule) *sich zu der durch den Ort des Krystalls gehenden Magnetcurve oder Magnetkraftlinie parallel oder tangential zu stellen sucht.*

2480. Ich zerbrach nun Wismuthmassen, welche geschmolzen und in gewöhnlicher Weise erstarrt waren, und wählte zu dem Versuche diejenigen Stücke aus, die mir am regelmäfsigsten krystallisirt zu seyn schienen. Es war fast unmöglich, das kleinste Stück zu nehmen, welches nicht dem Magnet gehorchte, sich mehr oder weniger leicht einstellte. Unter dünnen Platten mit vollkommenen Spaltungs-

Digitized by Google

flächen fanden sich leicht einige, die in jeder Hinsicht den Krystallen entsprachen, allein dickere Platten, eckige Stücke gaben complicirte, obwohl in Bezug auf die Gestalt einfache und regelmäfsige Resultate. Hin und wieder erwiefs sich die Spaltungsfläche, welche ich im Voraus für die auf der Kraftlinie (2475) winkelrechte gehalten hatte, nicht als solche; allein nach sorgfältigem Beobachten der Richtung der Magnekrystallkraft fand oder erhielt ich durch Spaltung immer eine ihr entsprechende Fläche, welche das zuvor beschriebene Ansehen und Kennzeichen besafs. Wismuthplatten von 0,05 bis 0,10 Zoll in Dicke und von parallelen und ähnlichen Flächen begränzt, erwiesen sich nach dem Zerbrechen als zusammengesetzt und unregelmäfsig.

2481. Wenn eine wohl ausgelesene Wismuthplatte (die meinige war 0,3 Zoll lang und breit und etwa 0,05 Zoll dick) an der Kante im magnetischen Felde aufgehängt wird, kommt sie schwingend und ihre Seiten den Magnetpolen zuwendend, diametral zur Ruhe (2461). Mit welchem Theil der Kante sie aufgehängt seyn mag, ist doch das Resultat dasselbe. Wird sie aber horizontal so aufgehängt, dafs die Spaltungsflächen parallel sind der Ebene der Bewegung, so ist sie ganz indifferent, denn die Linie der Magnekrystallkraft ist auf der Linie der Magnetkraft senkrecht, in jeder Lage, welche sie annehmen kann.

2482. Wird aber die Platte nur um eine sehr kleine Gröfse aus dieser Lage geneigt, so richtet sie sich, und zwar mit desto mehr Kraft, je verticaler die Flächen sind (2475). Das zuvor bei einem Krystall beschriebene Phänomen (2476), kann hier mit einem Bruchstück von einer Masse erhalten werden, und jeder Theil der Kante der Platte läfst sich zur axialen Einstellung bringen, je nachdem man ihn über oder unter die Horizontalebene versetzt.

2483. Wenn man eine Anzahl solcher krystallinischer Platten mittelst des Magnets ausgelesen hat, kann man sie hernach durch Kitt (2458) zu einer Masse vereinen, welche eine vollkommen regelmäfsige magnekrystallinische Wirkung ausübt, und in dieser Beziehung den zuvor bespro-

Digitized by Google

chenen Krystallen (2459, 2468, 2476) ähnelt. In dieser Weise läfst sich auch die *diamagnetische* Wirkung des Wismuths neutralisiren, denn es ist leicht ein Prisma von gleicher Breite und Dicke aufzubauen, welches, mit der Länge vertical aufgehängt, sich gut einstellt, ohne durch die diamagnetische Wirkung gestört zu werden.

2484. Stellt man drei gleiche Platten rechtwinklich zu einander, so erhält man ein System, welches alle Richtkraft gegen den Magnet verloren hat, indem dessen Kraft in jeder Richtung neutralisirt ist. Diefs repräsentirt also den Fall von fein krystallisirtem oder amorphem Wismuth. Dasselbe Resultat erhält man, wenn man eine ausgelesene gleichförmige Masse von Krystallen (2457) in einer Glasröhre schmelzt und wieder erstarren läfst; sobald nicht die Krystallisation grofs und deutlich ist, was selten der Fall ist, erhält man ein Stück scheinbar ohne alle Magnekrystallkraft. Ein gleiches Resultat erhält man, wenn man den Krystall zerbricht, die Stückchen oder das Pulver in eine Röhre bringt, und so das Ganze dem Magnete aussetzt.

2485. Diese Versuche mit Wismuth sind nicht schwer zu wiederholen; denn mit Ausnahme derer, die ein plötzliches Entstehen oder Verschwinden der Magnetkraft erfordern, lassen sich alle mit einem gewöhnlichen Hufeisen-Magnet wiederholen. Ein Magnet, mit dem ich Bedeutendes geleistet habe, besteht aus sieben an einander liegenden Lamellen, die, in einer Büchse mit den Polen aufwärts befestigt, zwei Magnetbacken (*magnet cheeks*) in dem Abstande von $\frac{5}{4}$ Zoll darbieten, zwischen welchen das magnetische Feld mit Kraftlinien von horizontaler Richtung erfüllt ist. Die Magnetpole müssen beide mit Papier bekleidet werden, um die Anhaftung von Eisentheilchen oder Rost zu verhüten. Der beste Ort für das Wismuth ist natürlich zwischen den Polen, nicht im Niveau mit deren Scheiteln, sondern 0″,4 bis 1″,0 tiefer (2463), damit man die Wirkung flacher Pole erlange. Ist es wünschenswerth die Kraftlinien zu verstärken, so kann es dadurch geschehen, dafs man ein Stück Eisen zwischen die Magnetpole bringt, und

Digitized by Google

somit, indem man diese virtuell einander nähert, die Weite des Magnetfeldes zwischen ihnen verringert.

2486. Der angewandte Magnet trägt mittelst seines Ankers 30 Pfund; allein bei Anwendung kleiner Stücke Wismuth habe ich die Wirkungen leicht mit Magneten erhalten, die nicht mehr als 7 Unzen wogen und nur 22 Unzen trugen. Die Versuche stehen also in Jedermanns Bereich.

2487. So lange der Wismuthkrystall im magnetischen Felde ist, wird er sehr deutlich und selbst stark durch die Annäherung von weichem Eisen oder einem Magnet afficirt, und zwar in folgender Weise. Stelle Fig. I Taf. I. die Lage der beiden Haupt-Magnetpole und ein Stück krystallisirtes Wismuth, welches, vermöge seiner Magnekrystallität, zwischen ihnen sich axial richtet, im Grundrifs vor. Legt man nun ein Stück weiches Eisen an die Backe des Pols, z. B. in *e*, und dem Wismuth nahe, wie in *a*, so wird letzteres afficirt und nähert sich dem ersteren. Wird das Eisen in ähnlicher Weise bei *f*, *g* oder *h* angebracht so bewirkt es eine gleiche Bewegung des Wismuths; die mit *b*, *c* oder *d* bezeichneten Theile nähern sich dem Eisen und scheinen angezogen zu werden. Wenn das weiche Eisen den Magnetpol nicht berührt, sondern zwischen diesem und dem Wismuth, im Ganzen in derselben Lage, gehalten wird, so erhält man dieselben Wirkungen, nur schwächer.

2488. Obwohl diese Bewegungen einen Anziehungs-Effect anzudeuten scheinen, so glaube ich doch nicht, dafs sie aus einer solchen Ursache entspringen, sondern dafs sie einfach Folgen aus dem zuvor (2479) angegebenen Gesetze sind. Die bisdahin gleichförmige Beschaffenheit des magnetischen Feldes ist durch die Gegenwart des Eisens zerstört. Magnetkraftlinien, von gröfserer Intensität als die übrigen gehen, in der abgebildeten Lage, von der Ecke *a* des Eisens aus, und, in den übrigen Lagen, von den entsprechenden Ecken, (indem sich die Gestalt des Poles nun mehr oder weniger einer konischen oder spitzen nähert);

Digitized by Google

und deshalb dreht sich der Wismuthkrystall um die Aufhängeaxe, damit er die Linie der Magnekrystallkraft parallel oder tangential zu der Resultante der durch seine Masse gehenden magnetischen Kräfte stellen könne.

2489. Wird statt der Krystallgruppe eine krystallinische Platte von Wismuth angewandt, so haben die unter ähnlichen Umständen auftretenden Erscheinungen das Ansehen einer *Abstofsung*. Stelle Fig. 2 Taf. I. diesen Zustand der Dinge vor. Das Eisenstück, in *e* angelegt, bewirkt ein Zurückweichen des Wismuths bei *a;* ebenso in *f, g h* angelegt, veranlafst es ein Zurückweichen desselben an den Punkten *b, c, d*; diese Erscheinungen sehen wie Abstofsungen aus, und doch sind sie, wie ich schliefse, nur Folgen der Bestrebung des Wismuths, gemäfs dem zuvor angegebenen Gesetz (2479), die magnekrystallische Kraftlinie parallel oder tangential zur Resultante der durch seine Masse gehenden Magnetkraft zu stellen.

2490. Ein Eisenstück von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge und 0,1 bis 0,2 Zoll Dicke wurde in der Aequatorialebene an den Rand der Wismuthplatte (Fig. 3 Taf. I.) gehalten; es änderte deren Lage nicht. Allein als das Ende *e* zu einem der Pole gedreht wurde, begann die Platte sich zu bewegen, und sie bewegte sich am meisten, wenn, wie in der Figur, das Eisen den Pol berührte. Wenn es dem *Pole N* nahe kam oder ihn berührte, drehte sich die Wismuthplatte wie es die punktirte Figur andeutet. Berührte es den Pol *S*, so war die Drehung entgegengesetzt. Wurde das Ende *e* mit dem Pol *N* in Berührung gehalten, und das andere Ende des Eisens in die Lage *m* gebracht, so wurde das Wismuth nicht afficirt; allein wenn man den Hülfspol in der einen oder anderen Weise gegen den Rand der Platte bewegte, drehte sich diese, so wie der Pol sich bewegte, immer ihre Seite demselben zugewandt strebend, offenbar durch die Tendenz der Magnekrystallaxe, sich der Resultante der durch das Wismuth gehenden Magnetkraft parallel zu stellen. Dieselben Resultate wurden unter gleichen Umständen mit dem Krystall (2487) erhalten, und entspre-

Digitized by Google

chende Resultate entstanden auch, wenn der weiche Eisenstab zwischen dem Pole *S* und dem Wismuth angebracht ward. Gleiche Resultate lieferten endlich auch die Platten von Arsenik und Antimon.

2491. Bei Anwendung eines Magnets statt des weichen Eisens werden entsprechende Resultate erhalten. Nur ist zu bemerken, dafs der Hauptmagnet, wenn er sehr kräftig ist, den Magnetismus des kleinen genäherten Magnets oft neutralisiren, ja selbst umkehren kann, und zwar (in Bezug auf äufseren Einflufs), während letzterer im magnetischen Felde ist, selbst wenn er, herausgezogen, unverändert zu seyn scheint.

2492. Als z. B. die Wismuthplatte zwischen den Backen (*cheeks*) des Hufeisenmagnets (2485) aufgehängt (Fig. 2 Taf. I.), und der Nordpol des kleinen Magnets (der Klinge eines Taschenmessers) in *a* oder *b* angebracht ward, bewirkte dieser ein Zurückweichen des ihm nahen Theils der Platte, genau aus denselben Gründen wie das weiche Eisen. Wurden die Extrapole nach *c* oder *d* versetzt, war die Wirkung schwächer als im ersten Fall, und sie bestand in einer Annäherung jenes Theils der Platte zu dem Pole. Da diese Lage des Hülfspols gewisse vom Südpol des Hufeisenmagnets ausgehende Magnetkraftlinien begränzt (*terminate*) und neutralisirt, so wird die Resultante der durch das Wismuth gehenden Kraftlinien in ihrer Richtung geändert und schiefer gegen ihren früheren Lauf gestellt, genau wie es die Bewegung des Wismuths, vermöge dessen Tendenz seine Kraftlinie jenen in ihrer neuen Lage parallel zu stellen, andeutet.

2493. Ein genäherter Südpol bewirkt Bewegungen in umgekehrter Richtung.

2494. Wenn der kleine Magnet in aequatorialer Lage mit einem Pole dem Rande der Platte genähert wird (Fig. 3 Taf. I.), so bewirkt er, da er nicht wie das Eisen neutral ist, eine Bewegung der Platte in tangentialer Richtung, entweder nach der Rechten oder Linken, je nach dem es der Süd- oder Nordpol war, just wie es das Eisen that,

Digitized by Google

wenn, durch Neigen, das genäherte Ende ein Pol geworden (2490). Diese Erscheinung zeigt sich in noch auffallenderem Grade bei Anwendung eines Wismuthkrystalles (2487), weil, vermöge seiner Gestalt und Lage, die Magnetcurven am meisten von dem Hülfspol afficirt und daher mehr in das Wismuth eingeschlossen werden, als wenn eine Platte gebraucht wird.

2495. Unzählige Abänderungen dieser Bewegungen, scheinbare Anziehungen und Abstofsungen oder tangentiale Einwirkungen, lassen sich nach Belieben erhalten durch Anwendung von Krystallen, deren Magnekrystallaxe ihrer Länge entspricht, oder von Platten, wo sie der Dicke nach liegt, und von permanenten oder temporären magnetischen Hülfspolen. Führt man den beweglichen Pol langsam rund um das Wismuth, von den neutralen Punkt *m* an bis zu einem anderen Neutralpunkt *n* (Fig. 3) so erhält man einen Inbegriff aller Erscheinungen, und man findet, dafs sie sich sämmtlich in dem zuvor aufgestellten allgemeinen Gesetz auflösen (2479), dafs die Magnekrystallaxe und die durch das Wismuth gehende Resultante der Magnetkraft parallel zu werden streben.

2496. Somit kann ein kleiner Krystall oder Wismuth oder Arsenik (2532) ein sehr nützlicher und wichtiger Anzeiger der Richtung der Kraftlinien in einem magnetischen Felde werden, denn während er durch seine Lage den Lauf derselben veranschaulicht, stört er sie zugleich durch seine eigene Wirkung nicht merklich.

2497. Viele dieser Bewegungen haben Aehnlichkeit und Beziehung zu denen, welche Plücker, Reich und Andere bei Einwirkung von Eisen und Magneten auf Wismuth in seinem gewöhnlichen diamagnetischen Zustande erhalten haben. Sie und Andere betrachten diese Erscheinungen als Anzeige, dafs das Wismuth, wie auch ich anfangs vermuthete (2429 etc.), in seinem diamagnetischen Zustande eine, obwohl umgekehrte, magnetische Polarität (*magnetic condition*) wie das Eisen besitze. Ich bin nicht mit allen ihren Arbeiten bekannt, aber das, was ich davon kenne

Digitized by Google

kenne und wiederholt habe, scheint mir das einfache Resultat des früher (2267. 2418) aufgestellten Gesetzes zu seyn, nämlich, dafs diamagnetische Körper dahin streben, von Orten stärkerer Magnetkraft zu Orten schwächerer zu gehen. Sie liefern von der vermeintlichen umgekehrten Polarität des Wismuths so wenig einen neuen, noch anderen Beweis, als die früher von mir beschriebenen Fälle, die sich jenem Gesetze unterordnen.

2498. In der Voraussetzung, es möchte ein dazwischen liegendes oder umgebendes Mittel die magnekrystallische Wirkung des Wismuths und anderer Körper einigermafsen verändern, befestigte ich die Magnetpole in einem gewissen Abstande (2 Zoll) von einander, hing in der Mitte des magnetischen Feldes einen Wismuthkrystall auf und beobachtete dessen Schwingungen und Ruhelage. Dann schob ich, ohne sonst etwas zu ändern, zwischen Pole und Krystall Schirme von Wismuth, nämlich Klötze von 2 Zoll im Quadrat und 0,75 Zoll Dicke; allein ich konnte nicht wahrnehmen, dafs durch deren Gegenwart eine Aenderung in den Erscheinungen hervorgebracht wurde.

2499. Der Wismuthkrystall (2459) wurde im Wasser zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets aufgehängt. Seine Ruhelage stimmte mit dem allgemeinen Gesetz (2179) wohl überein; fünf Umgänge des Torsionszeigers am oberen Ende des seidenen Aufhängefadens waren erforderlich, um ihn aus dieser Lage in die diametrale zu drehen. So weit ich es beobachten konnte, war derselbe Betrag von Torsionskraft zu demselben Effect erforderlich, wenn der Krystall blofs von Luft umgeben war.

2500. Dasselbe Wismuth wurde nun in einer gesättigten Lösung von Eisenvitriol (als einem magnetischen Medium) aufgehängt; die Einstellung geschah wie zuvor, anscheinend mit keiner Art von Veränderung, und, wie zuvor, waren fünf Umdrehungen des Torsionszeigers erforderlich, um den Krystall aus seiner Lage in die diametrale zu bringen.

Digitized by Google

2501. Krystalle von Wismuth mögen daher von Luft, Wasser oder Eisenvitriol-Lösung umgeben, oder zwischen dicken Wismuthmassen befindlich seyn, so üben sie doch, einer gleichen Magnetkraft unterworfen, sowohl der Natur und Richtung als dem Betrage nach, dieselbe Magnekrystallkraft aus.

2502. Es schien möglich, ja wahrscheinlich, dafs die Magnetkraft auf die Krystallisation des Wismuths und anderer Körper einwirke. Denn da die Magnetkraft auf die Masse eines Krystalls vermöge derjenigen Kraft wirkt, welche seine Theilchen besitzen und durch ihren polaren oder axialen (2472) und symmetrischen Zustand dem ganzen Krystall verleihen, und da die Ruhelage der Krystallmasse im magnetischen Felde als die des geringsten Zwanges betrachtet werden kann, so ward es wahrscheinlich genug, dafs wenn man Wismuth in flüssigem Zustande dem Einflufs des Magnetismus aussetzte, die Theilchen desselben eine und dieselbe axiale Lage anzunehmen streben würden, die krystallinische Anordnung der Masse nach ihrer Erstarrung also dadurch in gewissem Grade bedingt seyn würde.

2503. Es wurde daher Wismuth in einer Glasröhre geschmolzen und, bis zu seinem Erstarren, in fester Lage im magnetischen Felde gehalten, dann von seiner Glashülle befreit und aufgehängt, damit es unter dem Einflusse des Magnets dieselbe Lage annehme; allein es waren keine Anzeigen von Magnekrystallkraft sichtbar. Ich hatte nicht erwartet, dafs das Ganze regelmäfsig krystallisirt seyn würde, sondern nur dafs ein *Unterschied* zwischen der einen oder anderen Richtung vorhanden wäre. Aber es zeigte sich nichts der Art, in welcher Richtung das Stück auch aufgehängt seyn mochte; und nach dem Zerbrechen fand sich eine kleinkörnige und verworrne Krystallisation nach allen Richtungen. Vielleicht erhielte man bessere Resultate, wenn man sich länger Zeit liefse und einen permanenten Magnet anwendete. Ich hatte in Bezug auf die Krystallisation des Goldes, Silbers, Platins und überhaupt der Me-

Digitized by Google

talle und anderer Körper viele Hoffnung auf diesen Proceſs gesetzt [1]).

2504. Ich kann nicht finden, daſs Wismuthkrystalle irgend ein, sey es temporäres oder permanentes, Vermögen erlangen, welches sie mit aus dem magnetischen Felde brächten. Ich hielt Krystalle in verschiedenen Lagen im Felde der intensiven Wirkung eines kräftigen Elektromagnetes, dessen konische Pole einander sehr nahe waren, zog sie dann nach einiger Zeit heraus und prüfte sie nun sogleich an einer sehr empfindlichen astatischen Magnetnadel; allein ich konnte nicht wahrnehmen, daſs sie in Folge dieser Behandlung irgend eine besondere Wirkung ausübten.

2505. Da ein Wismuthkrystall dem Einfluſs der Magnetkraftlinien unterliegt und gehorcht (2479), so folgt, daſs er auch der Wirkung des Erdkörpers gehorchen müsse, wiewohl in sehr schwachem Grade. Ich habe einen guten Krystall an einem einfachen sehr langen Coconfaden aufgehängt und ihn durch concentrische Glasröhren möglichst gut vor Luftzug geschützt; ich glaube Anzeigen von Richtkraft beobachtet zu haben. Der Krystall hing so, daſs die Magnekrystallaxe denselben Winkel mit dem Horizont machte (etwa 70°) als die magnetische Neigung, und es schien die Axe mit dieser Neigung zusammenfallen zu wollen; jedoch erfordern die Versuche eine sorgfältige Wiederholung.

2506. Wichtiger für die Natur der polaren oder axialen Kräfte des Wismuths ist es, zu wissen, ob zwei Krystalle oder gleichförmig krystallisirte Massen von Wismuth eine Wirkung auf einander ausüben, und wenn dem so ist, welcher Natur diese Wirkung sey, in welcher Beziehung die Theile in der Mitte und an den Enden stehen, und welche Richtung die Kräfte besitzen. Ich habe hierüber viele Versuche gemacht, sowohl in als auſser dem Magnetfelde, aber nur negative Resultate erhalten. Ich wandte jedoch nur

1) Bekanntlich hat Hr. Prof. Plücker einen ähnlichen Versuch mit Erfolg angestellt.

Digitized by Google

kleine Wismuthmassen an, und meine Absicht ist die Versuche in besserer Jahreszeit auf gröfsere Massen auszudehnen, erforderlichenfalls auf solche, die in der schon beschriebenen Weise (2483) zusammengelegt sind.

2507. Kaum brauche ich wohl zu sagen, dafs ein Wismuthkrystall in einem schrauben- oder ringförmigen Draht, der von einem elekrischen Strom durchflossen wird, sich richten mufs, und zwar so, dafs seine Magnekrystallaxe der Axe der Rolle oder des Ringes parallel werde. Diefs ist auch der Fall, wie ich experimentell gefunden.

II. Krystallpolarität des Antimons.

2508. Das Antimon ist ein magnekrystallischer Körper. Krystallische Massen desselben, auf die zuvor (2457) beschriebene Weise dargestellt, wurden durch kupferne Werkzeuge zerstückelt und dadurch einige vortreffliche Krystallgruppen erlangt; sie wogen 10 bis 20 Gran und alle ihre Krystalle schienen gleichförmig gelagert zu seyn. Die einzelnen Krystalle waren im Ganzen sehr gut und, viel häufiger als die des Wismuths, voll an den Flächen und vollständig. Ueberdiefs waren sie glänzend, von stahlgrauem oder silbrigem Ansehen, und erschienen dem Auge sicherer kubisch, als die Wismuthkrystalle, obwohl sich hier und da deutliche rhomboidale Flächen zeigten. Durch Abstumpfungen lassen sich Spaltungsflächen erhalten, und von diesen ist eine, wie beim Wismuth, glänzender und vollkommner als die übrigen.

2509. Zuvörderst wurde ermittelt, dafs alle diese Krystalle diamagnetisch waren und zwar stark.

2510. Nächstdem überzeugte ich mich, dafs sie alle, wie beim Wismuth, die magnekrystallischen Phänomene mit bedeutender Stärke zeigten; indem sie eine Kraftlinie besafsen (2470), welche, bei senkrechter Stellung, dem Krystall eine freie Bewegung in jeder Richtung (2476) gestattete, bei horizontaler Lage aber, dem Krystall eine Richtung verlieh und zwar so, dafs er sich parallel stellte der durch ihn hingehenden Resultante der Magnetkraft (2479).

Digitized by Google

Diese Linie ging, wie beim Wismuth, von einer Ecke zu der gegenüberliegenden und war winkelrecht auf der oben erwähnten (2508) blanken Spaltungsfläche.

2511. So war denn die Wirkung des Magnets auf diese Krystalle im Allgemeinen dieselbe wie auf die Wismuthkrystalle; allein es gab auch einige Verschiedenheiten, welche eine nähere Angabe und Unterscheidung verlangen.

2512. Zunächst zeigte sich, dafs ein gewisser Krystall, bei horizontaler Lage seiner Magnekrystallaxe, nach Erregung der Magnetkraft sich nur langsam einstellte und gleichsam zur todten Ruhe kam. Wurde er aus dieser Lage rechts oder links abgelenkt, so kehrte er auf einmal, ohne Schwingungen, dahin zurück. Andere Krystalle thaten unvollkommen dasselbe, und noch andere machten vielleicht eine oder zwei Schwingungen; aber alle schienen sich wie in einer dicken Flüssigkeit zu bewegen und waren in dieser Beziehung dem Wismuth, das frei und leicht vibrirte (2459), äufserst ungleich.

2513. Nächstdem zeigte sich keine Einstellung oder anderweitige Aeufserung der Magnekrystallkraft, wenn die Krystalle so aufgehängt wurden, dafs ihre Magnekrystallaxe vertical war; allein es traten andere Erscheinungen auf. Denn wenn, bei erregter Magnetkraft, die Krystallmasse in Drehung versetzt ward, so blieb sie plötzlich stehen, und wurde in einer Lage festgehalten, welche, wie sich experimentell ergab, eine jede seyn konnte. Wenn sich indefs die gröfste Länge aufserhalb der axialen oder aequatorialen Lage befand, so folgte dem Stillstand, bei Unterbrechung des elektrischen Stroms (2315), eine *rückgängige* Bewegung. Die Bewegung war niemals grofs, am gröfsten wenn die Länge der Masse etwa einen Winkel von 45° mit der Axe des Magnetfeldes machte.

2514. Bei weiterer Untersuchung ergab sich, dafs dieses Stillstehen und Zurückspringen genau von gleicher Art war wie das früher bei Kupfer und anderen Metallen beobachtete (2309), auch aus derselben Quelle entstand, nämlich daraus, dafs unter dem inductiven Einflufs des Magnets

Digitized by Google

kreisrunde elektrische Ströme entstehen. Nun erhellt, warum vorhin die Antimonkrystalle nicht oscillirten (2512) und warum sie auch gleichsam absterbend (*with a dead set*) ihrer Ruhelage zuwanderten. Denn die durch die Bewegung erzeugten Ströme waren gerade diejenigen, welche die Bewegung zu hemmen suchten (2329)[1]). Obwohl die Magnekrystallkraft hinlänglich ist, den Krystall zu bewegen und zu richten, so ist es doch gerade die so entstandene Bewegung, welche Ströme erzeugt, die auf die Tendenz zur Bewegung rückwirken und veranlassen, dafs die Masse auf ihre Ruhelage zugeht, wie wenn sie sich in einer dicken Flüssigkeit bewegte.

2515. Nach dieser erweiterten Kenntnifs vom Stillstehen und Rückgehen des Antimons (Erscheinungen, die abhängen von seinem, im Vergleich zum Wismuth, höheren Leitvermögen im compacten krystallinischen Zustand) hat es keine Schwierigkeit die Identität der Magnekrystallkraft dieses Metalls mit der des Wismuths, so wie aller Resultate in ihren wesentlichen Charakteren, darzuthun. In vielen Stücken von Antimonkrystallen schien die Kraft geringer als im Wismuth zu seyn, doch wohl nur scheinbar, denn die eben beschriebene Wirkung der Inductionsströme sucht die magnekrystallischen Phänomene zu verstecken.

2516. Verschiedene Antimonstücke schienen auch in der Kraft, mit der sie sich einstellten, sowie in der Neigung, die Erscheinungen des Rücksprunges zu zeigen, von einander abzuweichen. Aber diese Unterschiede sind nur scheinbar oder lassen sich leicht erklären; die Effecte des Stillstehens und Zurückgehens hängen sehr von der Continuität der Masse ab, so dafs ein grofses Stück sie viel

1) Wenn sich Jemand eine genügende Idee von der hemmenden Wirkung dieser inducirten Ströme machen will, so nehme er einen Klumpen dichten Kupfers, von annähernd würflicher oder kugelförmiger Gestalt, 8 bis 16 Loth schwer, hänge denselben an einem langen Faden auf, versetze ihn in rasche Rotation, und bringe ihn so, wirbelnd, in das Magnetfeld eines Elektromagnets. Augenblicklich wird er die Bewegung gehemmt sehen; auch wird er es unmöglich finden, den Klumpen, so lange er in dem Felde ist, wieder in Wirbel zu versetzen.

Digitized by Google

besser zeigt, als eine Anzahl kleiner, und diese wiederum besser als die gepulverte Substanz. Selbst die Revulsionswirkung einer Kupfermasse kann gänzlich zerstört werden, wenn man sie in Feilstaub verwandelt. Leicht ersieht man, dafs von zwei Gruppen gleich symmetrisch gelagerter Antimonkrystalle, die eine aus grofsen wohl zusammenhängenden und also für die Induction von Strömen in der Masse günstig vereinten Krystallen bestehen kann, die andere aber nicht; und aus demselben Grunde können sie die magnekrystallischen Phänomene mit ungleicher Leichtigkeit zeigen, obwohl sie die Kraft dazu genau in gleichem Grade besitzen.

2517. Beim Experimentiren mit Antimonplatten wurden fernere Erläuterungen hiezu erhalten. Die Platten waren wie die des Wismuths (2480) aus zerbrochenen Massen ausgelesen. Einige derselben wirkten einfach, augenblicklich und gut; ihre breiten Seiten waren glänzende Spaltungsflächen. Irgendwo an den Kanten aufgehängt, wandten sie diese Flächen gegen die Pole, und sie oscillirten um ihre Endlage, in welcher sie allmälig zur Ruhe kamen.

2518. Als diese Platten mit Horizontalität ihrer Flächen aufgehängt wurden, vermochten sie nicht, sich im Magnetfelde einzustellen. Als sie geneigt wurden, nahmen die am meisten unter oder über die Horizontalebene versetzten Theile den nächsten Ort an den Magnetpolen ein (2482).

2519. Wenn mehre Platten übereinstimmend zu einem Bündel (2483) vereinigt wurden, war der *diamagnetische* Effect entfernt, und die magnekrystallische Oscillation und Einstellung ward sehr leicht und charakteristisch.

2520. So ist es einleuchtend, dafs es in allen diesen Fällen eine auf den Flächen der Platte winkelrechte Linie magnekrystallischer Kraft gab, die in ihrer Lage und Wirkung vollkommen übereinstimmte mit der Kraft, die zuvor an Antimonkrystallen aufgefunden wurde.

2521. Nun wurde eine andere Antimonplatte ausgewählt, die, vermöge ihres Ansehens, fähig schien, alle Erscheinungen der früheren Platten darzubieten, und doch,

Digitized by Google

als sie an ihrem Rande aufgehängt wurde, gab sie keine Anzeige von magnekrystallischen Resultaten. Denn erst rückte sie ein wenig vor (2310), darauf blieb sie stehen und behauptete ihren Platz, und als nun der Strom unterbrochen ward, während sie zwischen der aequatorialen und axialen Lage schwebte, sprang sie zurück, und zeigte ganz die Erscheinung des Kupfers (2315). Viele andere Platten verhielten sich genau ebenso.

2522. Als diese Platte (2521) in das intensive Feld zweier gegenüberstehender konischer Magnetpole gebracht wurde, zeigte sie dieselben Erscheinungen; allein ungeachtet sie eine Hemmung erlitt, bewegte sie sich langsam bis zur aequatorialen Lage, ein Resultat, welches wahrscheinlich aus vereinter Aeufserung der *magnekrystallischen* und *diamagnetischen* Kraft entsprang. Als die Platte mit Horizontalität ihrer Flächen aufgehängt wurde, waren die hemmenden und rückdrehenden Wirkungen gehoben; denn die diese veranlassenden Inductionsströme können nur nothwendigerweise in verticalen Flächen existiren; ferner hatte sie kein Einstellungsvermögen, was zeigte, dafs in der Länge und Breite der Platte keine Axe der magnekrystallischen Kraft vorhanden war.

2523. Andere Platten zeigten gemischte Effecte und zwar in verschiedenem Grade. Einige z. B. oscillirten frei stellten sich gut ein und gaben keine Anzeigen von Stockungen und Rücksprüngen. Andere oscillirten träge, stellten sich aber gut ein, und zeigten eine Neigung zum Stocken. Andere stellten sich gut ein, gingen aber wie todt zur Ruhe, wie wenn sie sich in einer Flüssigkeit bewegten; und als die Magnetkraft entfernt wurde, ehe sie zur Ruhe gekommen, erlitten sie nur einen schwachen Rücksprung. Noch einge endlich stockten auf einmal, stellten sich nicht ein (innerhalb der Zeit meiner Beobachtung), und sprangen stark zurück.

2524. Eine sorgfältige Untersuchung mittelst des Hufeisenmagnets (2485) und des grofsen Elektromagnets (2247)

Digitized by Google

machte endlich die Ursache dieser Verschiedenheit der Effecte augenfällig.

2525. Zunächst mag bemerkt seyn, dafs zuweilen eine Antimonplatte ausgewählt worden (2517), die sehr blanke und anscheinend fehlerfreie Flächen hatte und daher glauben liefs, sie würde sich im Magnetfelde gut richten; allein dem Hufeisenmagnet ausgesetzt, that sie es nicht, stellte sich vielmehr schief, mit geringer Kraft und vielleicht in zwei nicht diametrale Lagen. Diefs rührte ohne Zweifel von einer verworrenen und verwickelten Krystallisation her. Solch eine Platte, von hinlänglicher Breite und Länge (nicht geringer als ein Viertel- oder Drittelzoll), dem Elektromagnet ausgesetzt, zeigt die Erscheinung des Stockens (2310) und Zurückspringens (2315) gut.

2526. Nächstdem habe ich zu erinnern, dafs zur Entwicklung der Inductionsströme, der Ursache des Stockens und Zurückspringens, die Platte hinlängliche Dimensionen in einer Verticalebene (2329) haben mufs. Die Ströme circuliren in der Masse und nicht um die einzelnen Theile (2329) und die Resultante der durch die Substanz gehenden Magnetkraftlinien ist die Axe, rings um welche die Ströme erregt werden. Das ist der Grund, weshalb die Erscheinung nicht vorkommt bei in horizontaler Lage aufgehängten Platten, welche dieselbe in verticaler Lage ganz gut zeigen, was man bei einer einen halben Zoll im Durchmesser haltenden Scheibe von dünnem Kupfer, Silber, Gold, Zinn oder fast jedem dehnbaren Metall wahrnehmen kann, obwohl die besten Leiter die geeignetsten hierzu sind. Nun ist diese Bedingung von keiner Bedeutung für die Magnekrystall-Wirkung und, bei gleicher Masse, hat eine schmale Platte ebenso viel Kraft als eine breite. Die erste Platte, die ich ausgewählt (2517), war gut krystallisirt, dick und schmal; folglich war sie günstig für die Magnekrystall-Wirkung, ungünstig für die Erscheinung des Stockens und Zurückspringens, und daher gab sie von letzterer Wirkung verhältnifsmäfsig keine Anzeige.

Digitized by Google

2527. Hat man eine breite und gut krystallisirte Platte, so treten beide Reihen von Wirkungen auf. Erregt man z. B. Magnetkraft, während die Platte herum wirbelt, so wird ihre Bewegung für einen Augenblick beschleunigt und dann gehemmt, und hebt man nun plötzlich die Magnetkraft auf, so wird sie zurückgeführt, genau wie eine Kupferplatte (2315). Wenn man aber die Magnetkraft unterhält, wird man wahrnehmen, dafs die Hemmung nur scheinbar ist; denn die Platte bewegt sich, obwohl mit sehr verringerter Geschwindigkeit, und fährt darin fort, bis sie ihre magnekrystallische Lage angenommen hat. Sie bewegt sich wie in einer dicken Flüssigkeit. Die magnekrystallische Kraft ist also da und übt ihre volle Wirkung, und die Erscheinungen sind nur anders, weil gerade die von dieser Kraft hervorgebrachte Bewegung diejenigen magnetoelektrischen Ströme erregt (2329), welche durch ihre wechselseitige Wirkung mit dem Magnet die Bewegung zu hemmen suchen; daraus dann die Langsamkeit und zuletzt die todte Einstellung (2512. 2523).

2528. Ein Magnet, welcher schwächer ist (als der (2485) beschriebene Hufeisenmagnet) erregt die Inductionsströme in geringerem Grade, und zeigt doch die Magnekrystallkraft gut an; er ist also unter gewissen Umständen vortheilhafter für dergleichen Untersuchungen, da er den einen Effect von dem anderen zu unterscheiden hilft.

2529. Leicht ersieht man, dafs Platten, gleich viel ob von demselben oder verschiedenem Metall, durch ihre Schwingungen nicht hinsichtlich ihrer Magnekrystallkraft verglichen werden können; denn vermöge dieser inducirten Ströme schwingen Platten von gleicher Krystallkraft in sehr ungleicher Weise. Ich nahm eine Platte; kittete (2458) ausgewähltes Papier an ihre Flächen und beobachtete nun ihr Verhalten im magnetischen Felde; sie stellte sich langsam ein und zeigte die Stockungen und Rücksprünge (2521). Ich zerdrückte sie nun in einem Mörser in viele Stücke die jedoch ihren Platz behielten; jetzt stellte sie sich freier

Digitized by Google

und rascher ein und zeigte sehr wenig von der Erscheinung des Zurückspringens.

2530. Obwohl Schwingungen somit eine unsichere Angabe liefern, so bleibt uns doch noch die Torsionskraft als eine, glaube ich, genaue Anzeige von der Stärke der Einstellung (2500) und folglich auch der Magnekrystallkraft; ein seidener Aufhängefaden mag ein wenig nachgeben, aber ein Glasfaden, wie ihn Ritchie empfiehlt, wäre vollkommen geeignet.

2531. Das Antimon mufs in Richtung der Krystallplatten ein guter Elektricitätsleiter seyn, sonst würde es nicht die Erscheinung des Zurückspringens so frei zeigen. Gruppen von Antimonkrystallen (2508) zeigten dieselbe in solchem Grade, dafs sie mich glauben lassen, die einzelnen Krystalle besitzen in allen Richtungen ein nahe gleich gutes Leitvermögen. Ein Stück fein krystallisirten oder körnigen Antimons zeigt sie jedoch nicht in gleichem Maafse, wornach es scheint, wie wenn ein einigermafsen ähnlicher Effect, wie der der Zertheilung, entweder an der Gränze zweier incongruenter Krystalle oder zwischen den anliegenden Platten der Krystalle stattfindet und das Leitvermögen in diesen Richtungen abändert.

III. Krystallpolarität des Arseniks.

2532. Eine Masse Arsenikmetall von krystallinischer Structur (2480) wurde zerschlagen und aus den Bruchstücken einige Platten ausgewählt, die gute und ebene Spaltungsflächen besafsen, etwa 0,3 Zoll lang, 0,1 Zoll breit und 0,03 Zoll dick waren. Diese, einem konischen Pol gegenüber aufgehängt, erwiesen sich vollkommen *diamagnetisch*, und vor oder zwischen zwei Polen, stark *magnekrystallisch*. Ich besitze ein Paar flachseitige Pole mit Schraubenlöchern in der Mitte der Flächen, und diese schwächen die Intensität der Magnetlinien in der Mitte des Feldes so sehr, dafs wenn die Flächen einen halben Zoll von einander stehen, ein 0,3 Zoll langer Cylinder von körnigem Wismuth sich

Digitized by Google

axial oder von Pol zu Pol richtet (2384). Allein bei den Arsenikplatten zeigte sich zwischen denselben Polen keine Tendenz dieser Art; so sehr überwog die magnekrystallische Kraft der Substanz ihre diamagnetische.

2533. Wurden die Arsenikplatten mit Horizontalität ihrer Flächen aufgehängt, so stellten sie sich zwischen den flachseitigen Polen gar nicht mehr. Aber jede Neigung der Flächen gegen den Horizont bewirkte Einstellen, mehr oder minder stark, je nachdem die Flächen sich mehr der Verticalität näherten, genau wie in der schon beim Wismuth und Antimon beschriebenen Weise.

2534. Sonach besitzen also Arsenik, nebst Wismuth und Antimon, die magnekrystallische Kraft oder Beschaffenheit.

Royal Institution, 23. Sept. 1848.

II. *Fortsetzung der zwei und zwanzigsten Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von M. Faraday.*

§. 28. **Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper so wie deren Beziehung zur magnetischen und elektrischen Kraftform (Fortsetzung).**

IV. Krystallzustand verschiedener Körper.

2535. *Zink.* Platten, aus krystallisirten Zinkmassen herausgebrochen, gaben unregelmäfsige Anzeigen; allein, da sie wegen Unreinigkeiten zugleich magnetisch waren, so mögen die Effecte gänzlich daraus entsprungen seyn. Nun wurde reines Zink aus dem Chlorid und dem Sulphat elektrochemisch auf Platin niedergeschlagen; das erstere lieferte es in dendritischer, das andere in compacter Form. Beide Niederschläge waren diamagnetisch, frei von magnetischer

Digitized by Google

Wirkung, zeigten aber keine Spur von magnekrystallischer Action.

2536. *Titan* [1]). Gute Titankrystalle, aus dem Boden eines Hochofen herstammend, wurden durch abwechselnde Behandlung mit Säuren und Flufsmitteln so gut wie möglich von Eisen gereinigt. Sie waren glänzend, wohl gebildet und magnetisch (2371), enthielten aber Eisen und zwar, wie ich glaube, durch ihre ganze Masse verbreitet, denn Königswasser zog bei langem Sieden beständig Eisen und Titan aus. Diese Krystalle besafsen einen gewissen Magnetismus, welchen ich geneigt bin ihrer krystallischen Structur zuzuschreiben. Zwischen den Polen eines Elektromagnets stellten sie sich, selbst dann noch, wenn durch Unterbrechung des elektrischen Stroms die Kraft des Magnets sehr geschwächt worden. Ein Krystall sich selbst überlassen, nahm immer dieselbe Lage an, zum Beweise, dafs er stets in derselben Richtung magnetisch geworden. Wenn aber ein Krystall in anderer Lage zwischen den Magnetpolen gehalten ward, während der elektrische Strom thätig war, und man unterbrach nun den Strom, so behielt der freigelassene Krystall auch diese neue Richtung zwischen den geschwächten Polen, zum Beweise, dafs der Magnetismus nun in anderer Richtung als zuvor in dem Krystall erregt worden war. Wenn hierauf der Magnet wieder durch den elektrischen Strom erregt ward, sprang der Krystall sogleich herum und nahm seinen Magnetismus in der früheren Richtung an. In der That liefsen sich die Krystalle in jeder Richtung magnetisiren, doch in einer Richtung leichter und stärker als in allen übrigen. Ich bin geneigt dieses der krystallischen Structur zuzuschreiben; allein es kann auch von einer unregelmäfsigen Vertheilung von Eisen in der Titanmasse herrühren. Die Krystalle waren zu klein für mich, um diefs gehörig aufzuklären.

2537. *Kupfer.* Gute Krystalle von nativem Kupfer, sorgfältig ausgelesen von der Masse, wurden auf ihre

1) Diese und viele andere Krystalle verdanke ich der Güte des Sir Henry T. De la Beche und des Hrn. Tennant.

Digitized by Google

Magnekrystallkraft geprüft. Neben dem Hufeisenmagnet (2486) gaben sie keine Anzeige von dieser Kraft; in welcher Richtung sie auch aufgehängt werden mochten: sie blieben in jeder stehen; und wie wenig man auch den Aufhängefaden oben drehen mochte, so folgte doch unten der Krystall sogleich und zu vollem Betrage. Dem Elektromagnet ausgesetzt, zeigten sich die Erscheinungen des Stockens und Zurückspringens (2513, 2310), wie zu erwarten. Wenn, nach dem Stocken, die Magnetkraft unterhalten ward, zeigte sich kein langsames Vorrücken des Krystalls in eine bestimmten Richtung (2512); vielmehr stand er in jeder Lage vollkommen still. Das Kupfer gab also keine Anzeige von magnekrystallischer Wirkung.

2538. *Zinn.* Aus Block- und Kornzinn las ich einige Stücke aus, welche, ihrer äufseren Form und der bei Behandlung mit Säuren entstehenden Oberfläche nach, ein regelmäfsig krystallinisches Gefüge im Innern zu besitzen schienen; ich schnitt Stücke davon ab und unterwarf sie sorgfältig der Kraft der Magnete, konnte aber keine magnekrystallische Erscheinungen wahrnehmen. Anzeigen von Stockungen und Rücksprüngen waren vorhanden, auch von diamagnetischer Kraft, sonst aber nichts. Ich untersuchte auch einige durch elektrochemische Zerlegung gebildete Zinnkrystalle; sie waren rein und diamagnetisch, liefsen Hemmungen und Rücksprünge zu, gaben aber keine Anzeige von magnekrystallischer Action.

2539. *Blei.* Blei wurde geschmolzen und, nach theilweiser Erstarrung, ausgegossen (2457); dadurch wurden einige schöne Krystalle von octaëdrischer Gestalt erhalten. Vor den Magneten zeigten sie schwache Hemmungen und Rücksprünge, aber keine magnekrystallische Erscheinungen. Darauf wurden feine krystallinische Bleiplatten, die durch elektrochemische Zersetzung von essigsaurem Blei erhalten worden, dem Magnet ausgesetzt; sie waren rein und diamagnetisch, zeigten Stockungen und Rücksprünge, aber keine magnekrystallische Action.

2540. *Gold.* Es wurden drei schöne grofse Goldkry-

Digitized by Google

stalle untersucht. Sie waren diamagnetisch und leicht zu hemmen, (2310. 2340) gaben aber wegen ihrer octaëdrischen oder rundlichen Gestalt, keine Rücksprünge. Auch lieferten sie keine Anzeige von Magnekrystallität.

2541. *Tellur.* Es wurden zwei Bruckstücke mit grofsen und parallelen Spaltungsflächen untersucht; beide stellten sich ein und zwar, der gröfsten Länge nach, zwischen flachseitigen Polen (2463) quer gegen die axiale Linie. Ich glaube, diese Erscheinung entsprang zum Theil, wenn nicht gänzlich, aus dem magnekrystallischen Zustand der Substanz, halte es aber nicht für entscheidend bewiesen.

2542. *Osmium-Iridum.* Die natürlichen Körner dieser Legirung sind oft flach, zwei wie Krystallflächen aussehende Seiten darbietend, die, selbst wenn die Körner dick sind, einander parallel liegen. Es wurden einige der gröfsten und krystallinischsten Körner ausgewählt, und, nach Glühen mit Flufs und Digestion mit Königswasser, vor dem Magnet untersucht. Einige waren magnetischer als andere, und wurden angezogen; andere wurden es sehr wenig; die letzteren wurden ausgelesen und sorgfältiger untersucht. Sie alle richteten sich mit grofser Leichtigkeit und verhältnifsmäfsig grofser Kraft; denn, obwohl sie nur 0,2 Zoll lang waren, stellten sie sich leicht, wenn auch die Pole 3 oder 4 Zoll aus einander standen. *Immer* wandten die Krystalle ihre Seitenflächen den Polen zu, richteten also ihre Länge nicht *in,* sondern *quer* gegen die Axiallinie, es mochten übrigens die Pole viel oder wenig aus einander stehen, flachseitig oder konisch seyn. Ich halte sie für magnekrystallisch.

2543. *Leicht schmelzbares Metall* (*Fusible metal*). Krystalle von leicht schmelzbarem Metall (2457) stellten sich ein, aber dieselben, anscheinend vierseitige Platten oder Prismen, waren nicht gut, und daher ihre Angabe nicht deutlich.

2544. *Drähte.* Ich hielt es für möglich, dafs dünne Drähte, welche nach Behandlung mit Säuren ein faseriges Gefüge zeigten, eine der Krystallität sich nähernde

Digitized by Google

Anordnung ihrer Theilchen besitzen könnten, und unterwarf daher Bündel von Platin- Kupfer- und Zinndrähten der Wirkung des Magnets; allein es erschien keine Anzeige von magnekrystallischer Action.

2545. Ich unterwarf mehre Metall-Verbindungen der Kraft des Magnets in solcher Weise, dafs sie magnekrystallische Erscheinungen hätte zeigen können: Bleiglanz, natürlichen Zinnober, Zinnstein, Schwefelzinn, Rothkupfererz, Brookit oder Titanoxyd, Eisenkies, auch Diamant, Flufsspath, Steinsalz und Boracit; allein obgleich sie alle wohl krystallisirt und diamagnetisch waren, gaben sie keine Anzeige von Magnekrystallkraft. Natürliches und gut krystallisirtes Schwefelkupfer, Schwefelzink, Kobaltglanz und Leucit waren magnetisch. An keinem von ihnen konnte ich ein von der Krystallisation herrührendes magnetisches Resultat erkennen.

2546. Bei Untersuchung der *magnetischen Salze* erwiesen sich verschiedene derselben sehr auffallend magnekrystallisch, so das *schwefelsaure Eisenoxydul,* welches zunächst genommen wurde. Mit Verticalität der magnekrystallischen Axe aufgehängt, zeigte es keine besondere Erscheinungen, nur dafs die längere Horizontaldimension sich schwach in die magnetische Axe stellte; als aber der Krystall um 90° gedrehte wurde (2170) richtete er sich mit vieler Kraft und die gröfsere Länge stellte sich aequatorial. Der Krystall bestand aus übereinander liegenden flachen Individuen oder Tafeln und die Magnekrystallaxe ging quer durch sie hin. Nach einem Paar Versuchen war es daher leicht, voraus zu sagen, wie ein Krystall aufgehängt werden müsse, und wie er einspielen werde. Die Krystalle mochten lang oder schief oder unregelmäfsig seyn, so war doch die Magnekrystallkraft vorherrschend und das Bestimmende ihrer Lage, gleichviel ob die Pole zugespitzt oder abgeflacht, nahe oder weit von einander waren. Die Magnekrystallaxe ist ganz oder beinahe rechtwinklich auf einer der Seiten des rhombischen Prismas. Ich besitze kleine prismatische Krystalle, deren Länge fast das Dreifache der Breite

Digitized by Google

Breite ist; wenn beide, Länge und Magnekrystallaxe, horizontal sind, vermag keine Kraft oder Gestalt oder Lage der Magnetpole die Länge in die axiale Richtung zu bringen, vielmehr wird diese beständig von der Magnekrystallaxe eingenommen: so überwiegend ist deren Kraft über die blofs magnetische Kraft des Krystalls. Und doch ist die letztere mit unter so grofs, um die Aufhängefasern zu zerreifsen, wenn der Krystall sich über den Polen befindet (2615).

2547. *Schwefelsaures Nickeloxyd.* Ein Krystall desselben im Magnetfelde aufgehängt, stellte sich seiner Länge nach axial ein. Diefs konnte theils von blofser Magnetkraft, theils von Magnekrystallkraft herrühren. Ich schnitt aus dem Krystall einen Würfel, an dem zwei Flächen rechtwinklich waren auf der Länge des Prismas. Dieser Würfel spielte im Magnetfeld gut ein und zwar richtete die mit der Axe des Prismas zusammenfallende Linie sich axial; sie stellte die Magnekrystallaxe vor. Selbst wenn der Würfel in dieser Richtung verkürzt, und in eine quadratische Tafel verwandelt wurde, deren Axe mit der Magnekrystallaxe zusammenfiel, richtete er sich so gut wie zuvor, obwohl jetzt die kürzesten Dimensionen axial zu liegen kamen.

2548. *Schwefelsaures Eisenoxyd-Ammoniak* und *schwefelsaures Manganoxydul* gaben keine Anzeige von magnekrystallischen Erscheinungen; *schwefelsaures Manganoxydul-Ammoniak* glaube ich gab sie, aber die Krystalle waren nicht gut. *Schwefelsaures Nickeloxyd-Kali* ist magnekrystallisch. Alle drei Salze sind magnetisch.

2549. Somit erhellt dann, dafs aufser Wismuth, Antimon und Arsenik auch andere Körper magnekrystallische Effecte darbieten. Zu diesen gehören die Legirung von Iridium und Osmium, wahrscheinlich Tellur und Titan, und sicher schwefelsaures Eisenoxydul und schwefelsaures Nickeloxyd. Ehe ich diesen Gegenstand verlasse, mufs ich noch bemerken, dafs diese Eigenschaft mich wahrscheinlich früher (2290) manchmal zu Irrthümern verleitet hat. Daraus möchte namentlich sehr leicht ein Versehen beim Arsenik (2383) entstanden seyn.

Digitized by Google

V. Ueber die Natur der Magnekrystallkraft und allgemeine Betrachtungen.

2550. Die Magnekrystallkraft scheint sehr deutlich sowohl von der magnetischen als von der diamagnetischen Kraft unterschieden zu seyn, in sofern sie weder ein Annähern noch ein Zurückweichen, weder Anziehung noch Abstofsung bewirkt, sondern blofs der ihrem Einflusse ausgesetzten Masse eine gewisse bestimmte Richtung verleiht, so dafs eine gegebene Linie in der Masse gegen die Richtung der äufseren Magnetkraft in eine bestimmte Lage kommt.

2551. Ich hielt es für nothwendig, den Schlufs, dafs die Kraft weder einen anziehenden, noch einen abstofsenden Einflufs ausübe, sorgfältig zu prüfen und zu beweisen. Zu dem Ende construirte ich eine Torsionswaage mit Bifilarsuspension von Coconfäden, bestehend aus zwei Bündeln, jedes von sieben Filamenten, vier Zoll lang und ein Zwölftelzoll aus einander; von dem Ende eines Hebels liefs ich daran einen Wismuthkrystall (2457) hängen, so dafs er in jeder Lage festgehalten werden konnte. Diese Waage war durch einen Glaskasten geschützt, an dessen Aufsenseite sich das konische Ende eines der Pole des grofsen Elektromagnets (2247) befand, und zwar horizontal, rechtwinklich gegen den Hebel der Torsionswaage, und in solcher Lage, dafs der Wismuthkrystall sich in der Verlängerung der Axe des Pols befand, etwa einen halben Zoll von seinem Ende, wenn alles in Ruhe war. Der andere vier Zoll entfernte Pol war breit gelassen, damit die Magnekraftlinien gleichsam divergirten, und von dem konischen Pole aus rasch an Stärke abnehmen mufsten. Der Zweck war nun, den Grad der vom Magnet auf das Wismuth, als diamagnetischen Körper, ausgeübten Abstofsung zu beobachten, entweder durch den Abstand, bis zu welchem es fortgestofsen wurde, oder durch die Torsion, die man zur Zurückführung in seine erste Lage anzuwenden hatte; und ferner zu sehen, ob ein Unterschied vorhanden sey, wenn dabei das Wismuth seine Magnekrystallaxe einmal axial oder

Digitized by Google

den Magnekraftlinien parallel, und das andere Mal aequatorial zu liegen habe.

2552. Der Krystall wurde daher zunächst mit seiner Magnekrystallaxe den Magnekraftlinien parallel gestellt, und nach einander viermal um 90° in horizontaler Lage gedreht, um ihn unter allen Lagen der Magnekrystallaxe zu beobachten. In keinem Falle konnte indefs ein Unterschied in dem Betrage der Abstofsung beobachtet werden. Bei anderen Versuchen hatte die Axe eine schiefe Lage, aber das Resultat war noch dasselbe. Wenn daher irgend ein Unterschied vorhanden ist, mufs er äufserst klein seyn.

2553. Ein entsprechender Versuch, wobei der Krystall gleich einem Pendel bifilar an 30 Fufs langen Seidenfäden hing, gab dasselbe Resultat.

2554. Eine andere Reihe schlagender Beweise, dafs die Wirkung nicht von Attraction oder Repulsion herrührte, wurde in folgender Weise erhalten. Eine Strähne von funfzehn Coconfasern, etwa 14 Zoll lang, wurde oben befestigt und am unteren Ende mit einem Gewicht von einer Unze und mehr beschwert. Die Mitte dieser Strähne war ungefähr in der Mitte vom magnetischen Felde des Elektromagnets, und das quadratische Gewicht unten ruhte an der Seite eines Holzklotzes, so dafs eine verticale, steife seidene Axe ohne Schwingung und Umdrehung gebildet war. In der Mitte dieser Axe und quer gegen sie wurde ein kleiner Kartenstreif von 0,5 Zoll Länge und 0,1 Zoll Breite durch Kitt befestigt und dann ein kleiner Eisenvitriolkrystall von etwa 0,3 Zoll Länge und 0,1 Zoll Dicke an die Karte geheftet, so, dafs dessen Länge und auch dessen Magnekrystallaxe in der Horizontalebene lagen. Der Krystall befand sich seiner ganzen Länge nach an Einer Seite der seidenen Axe, so dafs, wenn er herumschwang, die Länge der Radius des beschriebenen Kreises war, und die Magnekrystallaxe parallel zu dessen Tangente.

2555. Die Ruhelage des Krystalls war durch die Torsionskraft der seidenen Axe bedingt und liefs sich durch Drehung des unteren Gewichtes beliebig verändern. Die

Digitized by Google

Torsionskraft dieser Axe war von solcher Stärke, dafs der Krystall, in Schwingungen versetzt, deren vierzig (ganze, hin und her) in einer Minute vollbrachte.

2556. Brachte man den Krystall in schiefe Lage (wie Fig. 4 Taf. I.) zwischen den flachseitigen Polen, so suchte er sich im Moment der Erregung des Magnets, mit seiner Länge aequatorial, oder mit seiner Magnekrystallaxe parallel den Magnekraftlinien zu stellen. Wurde der Nordpol entfernt und dann der Versuch wiederholt, so war der Erfolg derselbe, obgleich nicht so stark wie zuvor. Und als endlich der Südpol dem Krystall so nahe gebracht ward, als es ohne ihn zu berühren geschehen konnte, ergab sich dasselbe Resultat und zwar mit gröfserer Stärke als zuvor.

2557. In den beiden letzten Versuchen *wich* also der Eisenvitriolkrystall, obwohl er als magnetischer Körper von dem angewandten Magnet stark angezogen ward, unter dem Einflufs der Magnekrystallität von dem Magnetpol *zurück*.

2558. Wurde der Südpol entfernt und der Krystall blofs der Wirkung des Nordpols ausgesetzt, so näherte er sich demselben, getrieben sowohl von der magnetischen als von der magnekrystallischen Kraft; wurde aber der Krystall um 90° links oder 180° rechts um die seidene Axe gedreht, so dafs er in umgekehrte oder entgegengesetzte Lage kam, so stiefs dieser Pol ihn ab oder versetzte ihn in eine gewisse Entfernung, gerade wie es der Südpol that. Der Versuch erfordert Sorgfalt, und konische Pole eignen sich nicht gut dazu; allein bei ein wenig Achtsamkeit konnte ich die Resultate mit äufserster Leichtigkeit erhalten.

2559. Der Eisenvitriol wurde nun durch eine krystallinische Platte von Wismuth ersetzt (2480), und diese, wie jener, mit der Magnekrystallaxe horizontal, an Einer Seite der Seidenaxe befestigt. Gegen den Nordpol in dieselbe Lage gebracht, welche der Krystall im vorhergehenden Versuch (2556) besafs, so dafs sie sich, um ihre Axe den Magnekraftlinien parallel zu stellen, dem Magnetpol nähern mufste, that sie dieses wirklich, so wie der Magnet in Thätigkeit gesetzt ward, zuwider ihrem Diamagnetismus, aber unter

Digitized by Google

der Herrschaft der Magnekrystallkraft. Der Effect war gering, aber deutlich.

2560. Einstweilen das Resultat des weiterhin (2607) gegebenen Raisonnements anticipirend, will ich einen entsprechenden, mit dem rothen Cyaneisenkalium erhaltenen Effect beschreiben. Ein Krystall dieses Salzes, der durch Abschleifung seiner scharfen Kanten in eine Tafel, mit Flächen parallel der Ebene der optischen Axen, verwandelt worden, wurde statt der Wismuthplatte genommen. In der zuvor (2556) abgebildete Lage der Wirkung des Magnets ausgesetzt, bewegte er sich und stellte die Ebene der optischen Axen aequatorial, wie es Plücker beschreibt. Dasselbe geschah, wenn der Nordpol entfernt und der Südpol an den Krystall gebracht wurde; der Krystall *wich* vom Pol *zurück*. Wurde dagegen der Südpol entfernt und der Nordpol neben dem Krystall angewandt, so näherte sich letzterer, als Ganzes, diesem Pol. Stellte man den Krystall auf die andere Seite der Aequatorial-Linie, so bewirkte der Südpol eine *Annäherung* und der Nordpol eine *Entfernung*. So schien also ein und derselbe Pol eine und dieselbe Seite des Krystalls anziehen und abstofsen zu können, und jeder der Pole vermochte diese scheinbare Anziehungs- und Abstofsungskraft zu äufsern.

2561. Diefs ist ein Beweis, dafs weder eine Anziehung noch eine Abstofsung die Einstellung oder endliche Lage des Körpers verursacht (2607).

2562. Diese Kraft ist also in Charakter und Wirkung verschieden von der magnetischen und diamagnetischen Kraftform. Andererseits hat sie die offenbarste Beziehung zum Krystallgefüge des Wismuths und anderer Körper, deshalb auch zu den Molekülen und zu der Kraft, durch welche Moleküle im Stande sind, Krystallmassen zu bilden. Es scheint mir unmöglich, die Resultate anders aufzufassen als durch eine Wechselwirkung der Magnetkraft und der Kraft der Krystalltheilchen zu einander, und diefs führt zu dem weiteren Schlufs, dafs sie, in sofern sie auf einander einzuwirken vermögen, gleicher Natur theilhaft sind, wodurch

Digitized by Google

die Lösung jenes grofsen Problems der Philosophie der Molecularkräfte, welche ihnen allen einen gemeinsamen Ursprung beilegt (2146), eine neue Stütze bekommt.

2563. Mögen wir einen Krystall oder ein Theilchen vom Wismuth betrachten, so hat doch die Polarität desselben einen sehr ungewöhnlichen Charakter im Vergleich zur Polarität eines Theilchens im gewöhnlichen magnetischen Zustand oder zu sonst einem Dualismus von physischer Kraft. Denn die entgegengesetzten Pole haben *gleiche* Charaktere, wie vor allem aus der diametralen Einstellung der Massen (2461), und dann aus den physischen Charakteren und Relationen der Krystalle im Allgemeinen erhellt. Da die Molecüle in der Masse eines Krystalles liegen, so können sie keineswegs repräsentirt werden durch den Zustand eines Spänchens Eisenfeilicht zwischen den Polen eines Magnets oder durch den der Eisentheilchen in dem daran gelegten Anker; denn diese haben *ungleichnamige* Pole und die Eigenschaft zusammenzuhaften und so eine Art Structur zu bilden; wogegen in den Krystallen die Molecüle einander Pole von gleicher Art zuwenden, denn es sind, so zu sagen, alle Pole gleich.

2564. So wie aus den Erscheinungen erhellt, ist die Magnekrystallkraft eine in die Ferne wirkende Kraft; denn der Krystall kann aus der Ferne vom Magnet bewegt werden (2574) und kann ihn auch aus der Ferne bewegen. Um diefs letztere Resultat hervorzubringen, magnetisirte ich eine stählerne Haarnadel (*bodkin*) von etwa drei Zoll Länge und hing sie mittelst eines vier Zoll langen einfachen Coconfadens an einem horizontalen Stäbchen auf, das wiederum mittelst eines anderen Seidenfadens in der Mitte an einem festen Punkt aufgehängt war. Auf diese Weise konnte die Nadel sich frei um ihre Axe drehen und zugleich einen Kreis von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser beschreiben. Die letztere Bewegung war durch die Tendenz der Nadel, sich unter dem Einflufs der Erde zu richten, nicht gehindert, weil sie in dem Kreise jegliche Richtung annehmen und doch sich selbst parallel bleiben konnte.

Digitized by Google

2565. Aus einem Glasstab und Kupferdraht wurde ein von magnetischer Wirkung vollkommen freier Träger construirt, und durch den Boden des Stativs geführt, in der Verlängerung der oberen Drehungsaxe und also concentrisch mit dem Kreise, welchen der kleine Magnet beschreiben konnte; er hatte eine solche Höhe, dafs er im Niveau mit dem Pol am unteren Ende der Nadel und im Centro des kleinen Kreises, in welchem dieser Pol sich um ihn drehen konnte, einen Krystall oder irgend eine andere Substanz zu tragen vermochte. Durch Bewegung seines unteren Endes konnte man sein oberes Ende dem Magnete nähern oder von ihm entfernen. Das Ganze wurde mit einer Glasglocke bedeckt. Stehen gelassen, bis die Temperatur gleichförmig geworden und die Nadel zur Ruhe gekommen war, hatte diese unter dem Einflufs der Torsionskraft des Aufhängefaden eine constante Lage angenommen. Eine Drehung des aus Glas und Kupfer gebildeten Trägers bewirkte keine bleibende Aenderung in der Lage des Magnets; denn obwohl die Bewegung der Luft den Magnet fortführte, so kehrte er doch zuletzt zu demselben Ort zurück. Wurde er aus diesem Orte abgelenkt, so oscillirte das System vermöge der Torsionskraft des Seidenfadens; die Zeit einer halben Oscillation oder eines Ganges in einer Richtung betrug etwa drei Minuten, die einer ganzen Oscillation also sechs Minuten.

2566. Ein Wismuthkrystall, mit der Magnekrystallaxe in horizontaler Richtung an dem Träger befestigt, konnte dem unteren Pol der Nadel in jeder Richtung nahe gebracht werden, und nach zwei- oder dreistündigem Stehenlassen oder, wenn nach wiederholter Untersuchung der Magnetpol sich als in Ruhe erwies, konnte die Lage desselben bestimmt und der Grad und die Richtung der Einwirkung des Wismuths auf ihn ermittelt werden. Diese Beobachtungen erforderten ungemeine Vorsicht; alle stählernen und eisernen Gegenstände, wie Brillen, Messer, Schlüssel u. s. w. mufste der Beobachter, ehe er herantrat, von sich ablegen, auch nur Glasleuchter anwenden. Der er-

Digitized by Google

zeugte Effect, obwohl nur gering, ergab das Resultat, dafs wenn die Magnekrystallkraft einen Winkel von 10°, 20° oder 30° mit der vom Magnetpol zur Mitte des Wismuthkrystalles gezogenen Linie machte, der Pol ihr folgte und beide Linien in Parallelismus zu bringen suchte, was für ein Ende der Magnekrystallaxe übrigens dem Pole zugekehrt, oder nach welcher Seite sie gewandt seyn mochte. Durch successives Bewegen des Wismuths konnte die Ablenkung des Magnetpols auf 60° gebracht werden.

2567. Ein Wismuthkrystall ist daher im Stande aus der Ferne auf einen Magnet zu wirken.

2568. Allein diese in die Ferne wirkende Kraft entspringt doch aus derselben, die Theilchen zu einem krystallinischen Gefüge anordnenden Ursache, welche wir zu anderen Zeiten Aggregations-Anziehung nennen, und so oft als nur in *unmerkliche* Abstände wirkend betrachten.

2569. Zur weiteren Aufhellung der Natur dieser Kraft schritt ich nun zur Untersuchung des Einflusses der Wärme auf Wismuthkrystalle im magnetischen Felde. Die Krystalle wurden an dünnen Drähten von Platin oder Kupfer aufgehängt und erhitzt, zuweilen direct durch eine kleine Weingeistlampe, zuweilen durch ein zwischen die Pole gebrachtes Oelbad. Obwohl hiebei der aufsteigende Strom von Luft oder Oel stark war, so vermochte er doch nicht die durch die magnekrystallische Kraft bewirkte Einstellung zu hindern, sondern half mit zu zeigen, wann diese Wirkung abnahm oder aufhörte.

2570. Bei allmäliger Steigerung seiner Temperatur in der Luft fuhr der Wismuthkrystall fort sich zu richten, bis er plötzlich in dieser Beziehung indifferent wurde und unter dem Einfluss der aufsteigenden Luftströme jede Richtung annahm. Als darauf die Flamme entfernt wurde, drehte er sich langsam und regelmäfsig, wie wenn er keine Lage lieber als die andere annehmen wollte oder keine magnekrystallische Wirkung zurückgeblieben wäre. Allein nach wenigen Sekunden weiterer Temperaturabnahme nahm er seine Richtkraft wieder an, scheinbar in einem Augenblick

Digitized by Google

und mit voller Kraft; auch stellte er sich genau in der früheren Richtung ein. Bei sorgfältiger Untersuchung des Krystalls zeigte sich, dafs seine äufsere Gestalt und seine Spaltbarkeit unverändert geblieben waren; allein ein kleines Wismuthkügelchen, welches an einer Stelle an der Oberfläche ausgeschwitzt war, zeigte, dafs die Temperatur dem Schmelzpunkt sehr nahe gewesen.

2571. Dasselbe Resultat ergab sich im Oelbad, ausgenommen, dafs mehr Wismuth schmolz, da bei Entfernung der Lampe von dem Oelbade nicht sogleich die weitere Erwärmung unterdrückt war; etwa ein Viertel des Metalls hing unten als ein Tropfen daran. Dennoch verlor die Masse ihre Kraft in der hohen Temperatur und nahm sie beim Erkalten wieder an, in derselben Richtung, nur in geringerem Grade. Die Schwächung der Kraft erklärte sich beim Zerbrechen des Krystalls, denn die flüssig gewesenen Theile waren nun unregelmäfsig krystallisrt, und deshalb am Ende des Versuchs neutralisirt, während sie zu Anfang desselben sich activ verhalten hatten.

2572. Da Wärme diese Wirkung ausübt, so ist die frühere Erwartung (2502), Wismuth im Magnetfelde regelmäfsig krystallisiren zu sehen, natürlich unbegründet; denn das Metall mufs in den starren Zustand treten und vermuthlich mehre Grade weiter erkalten, ehe es die magnekrystallischen Erscheinungen zeigen kann. Wenn die Wärme auf alle Körper vor ihrer Liquefaction dieselbe Wirkung ausübt, kann natürlich jener Procefs auf keinen derselben angewandt werden.

2573. Als ein Stück krystallisirtes Antimon demselben Versuch unterworfen ward, verlor es seine magnekrystallische Kraft unterhalb dunkler Rothgluth, just als es soweit erweicht war, dafs es von dem es tragenden Kupferdraht einen Eindruck annahm. Nach dem Erkalten hatte es nicht seinen früheren Zustand angenommen, war vielmehr gewöhnlich magnetisch (*magnetic*) und richtete sich. Diefs glaube ich rührt her von Eisen, welches von der Flamme und Hitze der Weingeistlampe afficirt worden war; denn

Digitized by Google

da die Hitze stark genug war, um einen Theil des Antimons zu verbrennen, und in Rauch von Antimonoxyd zu verwandeln, so könnte sie auch einen Theil Eisen frei gemacht, und dadurch den Kohlen- und Wasserstoff der Flamme in magnetischen Zustand versetzt haben (2608).

2574. Zur ferneren Erläuterung der Wechselwirkung zwischen Wismuth und dem Magnet wurde ersteres in der (2551) beschriebenen Weise an der Bifilarwaage aufgehängt, jedoch so gedreht, dafs seine Magnekrystallaxe, zwar horizontal, aber nicht parallel oder winkelrecht gegen den Hebelarm, sondern etwas geneigt war, wie in Fig. 5 Taf. I. wo 1 den am Waagebalken *b* sitzenden Krystall vorstellt, der vermöge der Lage der Drehungsaxe durch die Lagen 1, 2, 3, 4,.. schwingen kann. *S* ist der Magnetpol, getrennt von ihm blofs durch die Glasglocke. In der Lage 1 sind offenbar die Magnekrystallaxen und Magnekraftlinien einander parallel, in den Lagen 2, 3, 4 dagegen schief. Wurde der Apparat so vorgerichtet, dafs der Wismuthkrystall in 1 ruhte, so brachte die Entfaltung (*superinduction*) der vollen Magnetkraft ihn nach 4; ein Resultat der diamagnetischen Wirkung. Hatte jedoch das Wismuth seinen Ruheort in 2, so führte die Entwicklung der Magnekraft dasselbe nicht nach 3, übereinstimmend mit dem früheren Resultat, sondern nach 1, welches es meistens erreichte und oft überschritt, ein wenig auf 4 zugehend. In diesem Falle wirkten Magnekrystallkraft und Magnetkraft einander entgegen, und die erstere überwog bis zu der Lage 1.

2575. Allein wiewohl der Wismuthkrystall sich in diesen Fällen quer gegen die Kraftlinien des magnetischen Feldes bewegte, darf nicht erwartet werden, dafs er es auch in einem Felde thue, wo die Linien parallel und von gleicher Stärke sind, wie zwischen flachseitigen Polen; der Krystall ist gezwungen sich nur parallel zu sich selbst zu bewegen; denn unter solchen Umständen sind die Kräfte in beiden Richtungen und zu beiden Seiten der Masse gleich, und die einzige Tendenz, welche der Krystall vermöge seiner

Digitized by Google

Magnekrystallität behält, ist die, sich um eine Verticalaxe zu drehen, bis er in dem Magnetfelde seine natürliche Lage angenommen hat.

2576. Eine höchst wichtige Frage hinsichtlich der Magnekrystallkraft ist zunächst die, ob diese Kraft eine dem Wismuthkrystall u. s. w. ursprünglich inwohnende oder eine durch magnetischen oder elektrischen Einfluſs hervorgerufene sey. Wenn ein weiches Eisen in die Nähe eines Magnets gebracht wird, erlangt es neue Fähigkeiten und Eigenschaften. Einige nehmen an, dieſs beruhe auf einer durch Vertheilung (*induction*) erregten neuen Kraft in dem Eisen und dessen Theilchen, von gleicher Natur mit der des erregenden (*inducing*) Magnets; Andere halten dafür, jene Kraft sey ursprünglich in den Eisentheilchen vorhanden, und die inductive Action bestehe nur in einer Anordnung aller elementaren Kräfte zu einer gemeinschaftlichen Richtung. Auf den Wismuthkrystall kann die letztere Annahme nicht in gleicher Weise angewandt werden, denn alle seine Theilchen sind schon vorher geordnet, und es ist eben diese Anordnung, wodurch er seine Kräfte erlangt. Wenn die Theilchen einer Substanz sich in der Verworrenheit (*heterogeneous condition*) befinden, welche die des Eisens in seinem unmagnetischen Zustand besitzen, so mag die Magnetkraft den magnetischen und auch diamagnetischen Zustand, welcher wahrscheinlich ein Inductionszustand ist, entwickeln; allein es erhellt nicht sogleich, dafs sie auch einen Zustand wie den hier betrachteten erregen könne.

2577. Dafs die Theilchen ihre Eigenthümlichkeit zu grofsem Maafse in allen Resultaten bewahren, geht aus der Betrachung hervor, dafs sie eine inwohnende Fähigkeit oder Kraft, die Krystallisationskraft, besitzen, welche so standhaft ist, dafs sie sich durch keine Behandlung verändern läfst, dafs es eben diese Kraft ist, welche, indem sie den Theilchen eine regelmäfsige Lage in der Masse giebt, sie auch befähigt, gemeinschaftlich auf den Magnet oder elektrischen Strom zu wirken oder eine Einwirkung von

Digitized by Google

ihnen zu erleiden; und dafs wenn die Theilchen nicht so angeordnet sind, sondern verworren in der Masse liegen, die Summe ihrer Kräfte nach aufsen Null ist und keine inductive Einwirkung des Magnets oder elektrischen Stroms die geringste Spur von den Erscheinungen zu entwickeln vermag.

2578. Und dafs die Theilchen selbst vor ihrer Krystallisation, vermöge der Krystallisationskraft, einigermafsen in die Ferne wirken können, wird, glaube ich, durch die folgende Thatsache dargethan. Eine Flasche enthaltend etwa ein Quart Glaubersalz-Lösung von solcher Concentration, dafs sie nach Erkalten bei Berührung mit einem Krystall des Salzes oder einem anderen Körper krystallisirte, wurde eine Woche oder länger ruhig stehen gelassen. Die Lösung war klar geblieben, allein als man die Flasche berührte, erfolgte mit einem Male durch die ganze Masse eine Krystallisation in klaren, gesonderten durchsichtigen Tafeln von mehr als einem Zoll in Länge und einem halben Zoll in Breite und einer Dicke von vielleicht $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{60}$ Zoll. Sie alle waren horizontal und mithin einander parallel, und hatten, wenn ich mich recht erinnere, ihre Länge in gleicher Richtung; auch waren sie in jedem Theil der Flasche von gleichem Charakter und anscheinend in gleicher Menge vorhanden. Beim Umkippen der Flasche hielten sie fast die Flüssigkeit zurück, und als diese abgelassen ward, boten sie ein schönes und gleichförmiges Haufwerk von Krystallen dar. Dieses Ergebnifs überzeugte mich damals, dafs wiewohl der Einflufs eines gelösten und krystallisirenden Theilchens unmittelbar und hauptsächlich auf seine Nachbaren gerichtet ist, er sich doch auch darüber hinaus erstrecken müsse, weil sonst die ganze Masse der Lösung schwerlich in einen so gleichförmigen Krystallisationszustand gerathen seyn könne. Ob die Horizontalität der Platten zu der fast verticalen Richtung der Kraftlinien des Erdmagnetismus, die während der ganzen Ruhezeit die Lösung durchschnitten, irgend eine Beziehung habe, ist mehr als ich zu sagen wage.

2579. Folgendes sind Betrachtungen, welche auf die

Digitized by Google

grofse Frage (2576) von einem ursprünglichen oder hervorgerufenen Zustand hinzielen.

2580. Zunächst bringt das Wismuth aus dem Magnefelde keine Kraft oder keinen besonderen Zustand mit, vermöge dessen es auf einen Magnet wirkte (2504); wenn also der Zustand des Krystalls ein inductiver ist, ist er wahrscheinlich ein vorübergehender, der nur während der Induction besteht. Die Thatsache also, obwohl eine negative, stimmt, soweit ihre Beweiskraft reicht, mit jener Voraussetzung überein.

2581. Wenn ferner der Effect, so weit er den Krystall betrifft, ganz aus einer ursprünglichen, der Masse innewohnenden Kraft entspränge, so stände zu erwarten, dafs der Magnetismus der Erde oder eines anderen schwachen Magnets auf den Krystall einwirkte. Freilich mufs eine schwache Magnetkraft so gut als eine starke einen gegebenen Zustand in einem Wismuthkrystall induciren, nur verhältnifsmäfsig; allein wenn der gegebene Zustand dem Krystall inhärent wäre, und in seinem Betrage sich nicht änderte durch die Stärke der einwirkenden Magnetkraft, so müfste eine schwache Magnetkraft entschiedener auf das Wismuth wirken als im Fall der Zustand desselben ein inducirter, und nur der Stärke dieser Kraft proportional wäre. Was auch der Werth dieses Arguments seyn mag, so wurde ich doch dadurch veranlafst, den Versuch über den Einfluſs der Erde (2505) sehr sorgfältig zu wiederholen. Ich hing Krystalle in kleinen Flaschen auf, stülpte gröfsere darüber und machte diesen Versuch an einem unterirdischen Orte von gleichförmiger und constanter Temperatur, so dafs jeder Luftzug ausgeschlossen war, und der Krystall den schwächsten Torsionsgraden, die man den Aufhängefaden oben durch den Zeiger gab, folgen konnte. Unter diesen Umständen konnte ich keine Richtkraft unter dem Einfluſs der Erde erhalten, weder mit Wismuth- noch mit Eisenvitriolkrystallen. Vielleicht möchte sie unter dem Aequator, wo die Kraftlinien, horizontal sind wahrnehmbar werden.

Digitized by Google

2582. Angenommen drittens, es sey in den Krystallen und dessen Molecülen eine ursprüngliche Kraft vorhanden, so liefse sich erwarten, dafs sie, unabhängig von der Magnetkraft, eine directe Wirkung auf einander ausüben, und wäre diefs der Fall, so hätte man den best möglichen Beweis, dafs die im Magnetfelde geäufserte Kraft eine inhärente sey. Allein als ich einen grofsen Krystall mit seiner Magnekrystallaxe horizontal unter oder neben einen aufgehängten kleineren legte, konnte ich kein Zeichen von gegenseitiger Einwirkung wahrnehmen, selbst dann nicht als die nahe gelegten Theile der Krystalle abgeschliffen oder fortgelöst worden waren, um die beiden Krystalle mit grofsen Flächen möglichst nahe an einander zu bringen. Solche Versuche (2581) erfordern eine grofse Sorgfalt, sonst entstehen Resultate, die eine Wechselwirkung der Krystalle anzudeuten scheinen.

2583. Ebenso wenig konnte ich eine Spur von Wechselwirkung zwischen Krystallen von Wismuth oder Eisenvitriol auffinden, wenn beide im Magnetfelde waren, und der eine frei schwebte, während der andere in verschiedenen Lagen ihm nahe war.

2584. Aus der Abwesenheit oder ungemeinen Schwäche irgend einer Wechselwirkung zwischen den Krystallen, so wie aus der Wirkung der Wärme, die den Krystallen, bevor sie ihren krystallinischen Zustand verloren haben, jedes Vermögen raubt (2570), bin ich zu glauben veranlafst worden, dafs die Kraft, welche der Krystall im Magnet felde durch seine Bewegung äufsert, hauptsächlich und fast gänzlich *inducirter* Natur ist, freilich abhängig von der Krystallkraft und ihr zuletzt hinzutretend, aber sie zugleich erhöhend zu einem Grade, den sie ohne Induction nicht erreicht haben würde.

2585. In diesem Falle müfste die Kraft wahrscheinlich eine magnekrystallische genannt werden, da sie unter dem Einflufs des Magnets erzeugt oder entwickelt wird. Ich gebrauche das Wort magnekrystallisch, um damit anzudeuten, dafs sie, wie ich glaube, dem Krystall selber ange-

Digitized by Google

hört, und in diesem Sinn spreche ich auch von Magnekrystallaxe u. s. w.

2586. Diese Kraft scheint mir von einem sehr seltsamen und auffallenden Charakter zu seyn. Sie ist nicht polar, denn sie bewirkt weder Anziehung noch Abstofsung. Allein von welcher Natur ist dann die mechanische Kraft, welche den Krystall herumdreht (2460) oder ihn auf einen Magnet wirken läfst (2564)? Er ist nicht gleich einer Drahtrolle, auf welche Magnetkraftlinien wirken; denn dazu ist ein elektrischer Strom erforderlich, und jene Rolle besitzt die ganze Zeit hindurch Polarität, wird kräftig angezogen oder abgestofsen [1]).

2587. Nehmen wir für einen Moment an, die axiale Lage sey diejenige, in welcher der Krystall nicht afficirt wird und es sey die schiefe Lage, in welcher die magnekrystallisch axiale Richtung afficirt und polar wird, zwei Spannungen gebend, welche den Krystall herumziehen; so müfsten zu diesen Zeiten Anziehungen vorhanden seyn, und ein schief dargebotener Krystall müfste von einem einzigen Pol oder von dem nächsten unter beiden angezogen werden; aber eine Wirkung der Art ist nicht vorhanden.

2588. Oder wir könnten annehmen, der Krystall wäre in Richtung der Magnekrystallaxe etwas mehr für magnetische Induction oder etwas weniger für diamagnetische Induction empfänglich als in anderen Richtungen. Allein, wenn dem so wäre, so würden magnetische Körper, wie Eisenvitriol (2557, 2583) sicherlich polare Anziehungen äufsern und diamagnetische Körper, wie Wismuth, einen Unterschied in dem Grade der Abstofsung zeigen, wenn sie mit der Magnekrystallaxe parallel oder winkelrecht den Magnekraftlinien dargeboten werden (2552), was aber nicht der Fall ist.

2589. Ich erinnere mich bisher keiner Kraft, wie die gegenwärtige, durch welche ein Körper, ohne Anziehung oder Abstofsung, nur in eine Richtung gebracht wird.

2590. Ist die Kraft eine inducirte, so mufs sie, im

1) Vielleicht finden diese Punkte ihre Erklärung in der Wirkung anliegender Partikel (1663, 1710, 1729, 1735, 2443).

Digitized by Google

Allgemeinen, der sie inducirenden gleich seyn, und diese sind bis jetzt die magnetische und elektrische Kraft. Ist sie, inducirt, der Krystallisationskraft unterworfen (2577), so mufs zwischen ihr und dieser eine innige Beziehung stattfinden. Welche Hoffnungen also, dafs die Resultate uns noch zur vollen Erkenntnifs dieser Kräfte (2146), ihrer Verknüpfungen mit den Körpertheilchen und ihrer Wirkungsweisen führen werden.

2591. Ich kann nicht unterlassen, über diese Erscheinungen noch eine andere Ansicht auszusprechen, die möglicher Weise die richtige ist. Die Magnekraftlinien lassen sich vielleicht als einigermafsen den Strahlen des Lichts, der Wärme u. s. w. ähnlich betrachten, und sie mögen beim Durchgang durch die Körper eine Schwierigkeit finden, wie es mit dem Lichte der Fall ist. Sie mögen z. B. einen krystallisirten Körper in Richtung der Magnekrystallaxe freier oder ungehindert durchdringen als in anderen Richtungen. In diesem Falle wäre die Lage, welche der Krystall mit seiner Magnekrystallaxe den Magnekraftlinien parallel im Magnetfelde annimmt, die Lage des kleinsten oder nullgleichen Widerstands und deshalb die Lage der Ruhe und des stabilen Gleichgewichts. Alle diametralen Effecte würden mit dieser Ansicht übereinstimmen. Denn gerade, was die optische Axe für einen polarisirten Lichtstrahl ist, nämlich die Richtung, in welcher dieser nicht afficirt wird, das würde die Magnekrystallaxe für die Magnekraftlinien seyn. Wenn diefs der Fall wäre, dürften wir auch hoffen, bei krystallisirten Körpern eine Reihe von auf Verzögerung und Richtungs-Einflufs beruhenden Erscheinungen zu entdecken, welche den schönen Licht-Erscheinungen in solchen Körpern parallel gingen. Indem ich diese Voraussetzung mache, vergesse ich nicht die Trägheit und das Moment; allein die Idee, die ich mir von der Trägheit mache, schliefst die obige Ansicht nicht als unvereinbar damit aus; überdiefs erinnere ich daran, dafs wenn ein Magnetpol und ein von einem elektrischen Strom durchflossener Draht so befestigt werden, dafs der eine

Digitized by Google

eine sich nicht ohne den anderen drehen kann, der eine, wenn man den anderen zur Axe macht, diesen umkreiset und mit sich führt; und auch, dafs ein Magnet, wenn er im Quecksilber schwimmt und einen elektrischen Strom hinableiet, umherkreist vermöge der Kräfte, die *innerhalb* seiner Masse sind. Bei meinen unvollkommenen mathetischen Kenntnissen scheint mir in diesen Bewegungen ebenso viel Schwierigkeit zu liegen als in der von mir vorausgesetzten und daher wage ich die Idee auszusprechen [1]). Die Hoffnung auf ein polarisirtes Bündel von Magnetkräften ist an sich genügend, um ernsthaft sich mit Darstellung desselben zu befassen; ich kann wohl sagen, dafs Keiner, bei gehöriger Geschicklichkeit, Unpartheilichkeit und Vorsicht, in diesen Untersuchungen vergebens arbeiten wird.

2592. In einem früheren Aufsatz (2469) habe ich schon auf Plücker's schöne Entdeckung der Abstofsung der optischen Axe gewisser Krystalle durch den Magnet [2]) verwiesen, und sie unterschieden von meiner eigenen beim Wismuth, Antimon und Arsen, welche nicht Fälle von Abstofsung oder Anziehung darstellen; ich glaube nun mit Plücker, dafs die dort auftretende Kraft eine der optischen Axe angehörige ist, die sich in aequatorialer Richtung äufsert, also winkelrecht auf der, welche die magnekrystallischen Erscheinungen hervorbringt.

2593. Allein die Beziehungen *beider* zum krystallinischen Gefüge und folglich zu der Kraft, welche dieses bewirkt, sind einleuchtend. Auch andere Betrachtungen, hinsichtlich der Lage, Einstellung und Drehung, zeigen, dafs die beiden Kräfte in ihren Beziehungen zur magnetischen und diamagnetischen Kraft sehr verschieden sind. Da demnach einerseits die strenge Gleichheit und andererseits die Verschiedenheit beider Klassen von Erscheinungen klar ist, so will ich sie vergleichen, um zu sehen ob nicht die bei ihnen wirkende Kraft identisch sey.

2594. Ich hatte den Vortheil die Resultate Plücker's

1) Siehe Note am Ende (2639).

2) Pogg. Ann. Bd. 72 (Oct. 1847).

Digitized by Google

unter dessen persönlicher Anleitung beim Turmalin, Staurolith, rothem Cyaneisenkalium und Kalkspath bestätigt zu sehen. Seitdem habe ich, besonders rücksichtlich der vorliegenden Arbeit, den Kalkspath sorgfältig untersucht, da er ein unmagnetischer und zugleich in krystallischer Beziehung so einfacher Körper ist, dafs er nur eine optische Axe besitzt.

2595. Hängt man ein kleines Rhomboëder, etwa 0,3 Zoll in gröfster Dimension, mit seiner optischen Axe horizontal zwischen den zugespitzten, und einander möglichst genäherten Polen eines Elektromagnets auf, so stellt es sich in aequatoriale Richtung und die optische Axe fällt mit der magnetischen zusammen; rückt man aber die Pole 6 oder 9 Linien aus einander, so dreht sich das Rhomboëder um 90° und stellt sich mit der optischen Axe aequatorial, also mit der gröfsten Länge axial. Im ersten Fall hat die diamagnetische Kraft das Uebergewicht über die Kraft der optischen Axe, im letzteren ist es umgekehrt.

2596. Um den diamagnetischen Einfluſs zu entfernen, wandte ich flache Pole an (2463); jetzt stellte sich das kleine Rhomboëder immer mit der optischen Axe aequatorial oder vibrirte um diese Lage.

2597. Hierauf nahm ich drei Würfel aus Kalkspath, respective von 0,3, 0,5 und 0,8 Zoll in Seite, deren optische Axen auf zwei der Flächen rechtwinklich waren, und brachte sie nach einander in das Magnetfeld, entweder zwischen flachen oder spitzen Polen. In allen Fällen ging die optische Axe, wenn sie horizontal war, in die aequatoriale Lage, und wenn sie vertical stand, hatten die Würfel keine Richtkraft. Durch die Methode zweier Lagen (2470) war es leicht, die Kraftlinie zu finden, bei deren Verticalität die Masse nicht vom Magnet afficirt ward und bei deren Horizontalität sie in die aequatoriale Lage ging. Eine Untersuchung der Würfel im polarisirten Lichte zeigte, dafs diese Linie mit der optischen Axe zusammenfiel.

2598. Selbst der Hufeisenmagnet (2485) ist stark genug, um diese Erscheinungen hervorzubringen.

Digitized by Google

2599. An zwei ähnlichen Würfeln von Bergkrystall (1692) konnte ich keine Spur von Erscheinungen wahrnehmen, die eine magne-optische, oder magnekrystallische oder sonst eine Beziehung zum Krystallgefüge der Masse gehabt hätten.

2600. So ist also vollkommen gewifs, dafs es im Kalkspathkrystall eine mit der optischen Axe zusammenfallende Linie giebt, welche die Resultante der den Krystall im Magnetfelde in eine bestimmte Lage bringenden Kräfte ist, und eben so gewifs ist, dafs diese Lage eine aequatoriale ist. Dennoch, scheint sie mir als Kraftlinie, d. h. als Richtung der Kraft, welche den Krystall in jene Lage bringt, etwas Anomales zu haben. Denn, dafs eine richtende und bedingende Kraft*linie* zu ihrem vollen Effect das Resultat haben sollte, in eine *Ebene* (die aequatoriale) zu gehen, in welcher sie eine Unzahl verschiedenartiger Lagen annehmen könnte, hat etwas Unbefriedigendes, und erweckt den Gedanken, dafs irgend ein anderer Effect oder sonst noch ein Phänomen zu erforschen und zu erklären übrig bleibe.

2601. Bei fernerer Betrachtung scheint, dafs eine blofse Combination der Magnekrystallität, wie sie im Wismuth existirt, uns eine vollkommene Vorstellung von dem Zustand des Kalkspaths geben werde; denn bringt man zwei Wismuthstücke mit ihren Magnekrystallaxen rechtwinklich gegen einander (2484), so hat man ein System von Kräften, welche, als Resultante, eine in die aequatoriale Richtung einspielende Linie zu besitzen scheint. Wenn diese Linie vertical ist, hat das System keine Richtkraft; ist sie aber horizontal, so stellt es sich mit derselben in die aequatoriale Ebene. Dennoch hat die wahre Kraft nicht eine aequatoriale, sondern die axiale Richtung; und das System bewegt sich eher durch eine, so zu sagen, *Ebene axialer Kraft* (hervorgehend aus dem Vereine zwei zu einander rechtwinklicher Axen) als durch eine *Linie aequatorialer Kraft.*

2602. Ohne Zweifel ist das Rhomboëder oder der Würfel (2597) von Kalkspath kein zusammengesetzter Krystall

Digitized by Google

wie das eben (2601) erwähnte System von Wismuthkrystallen; allein die Molecule desselben könnten eine zusammengesetzte Anordnung ihrer Kräfte besitzen, könnten zwei oder mehre Axen haben, die, während sie die krystallinische Structur bedingten, gegen den Magnet eine solche Kraft äufserten, dafs die Resultate gleicher Art und Weise wären, wie bei dem Doppelkrystall von Wismuth (2601). Dafs es im Kalkspath- oder Wismuththeilchen nur eine Axe von Krystallkraft gebe, scheint mir in der That mit der Spaltbarkeit der Substanzen in drei und mehr Richtungen nicht verträglich zu seyn.

2603. Die optische Axe eines Kalkspathstücks ist einfach die Linie, in welcher ein polarisirter oder gemeiner Lichtstrahl am wenigstens afficirt wird. Sie mag, als Resultante der Molecularkräfte, eine Linie schwächster Intensität seyn, und sicher ist ein Stück Kalkspath, für die gewöhnlichen und mechanischen Mittel zur Beobachtung der Cohäsion, viel härter an den Flächen und Stellen, welche der optischen Axe parallel sind, als an den darauf winkelrechten. Eine gewöhnliche Feile oder ein Stück Sandstein erweist dieses. So wie also die zur optischen Axe aequatoriale Ebene Richtungen vorstellt, in welchen die Krystallisationskraft stärker ist als in Richtung der optischen Axe, so mag sie auch diejenige seyn, in welcher die Resultante der Magnekrystallkraft ausgeübt wird.

2604. Als einigermafsen im Widerspruch mit diesen Betrachtungen mufs ich sagen, dafs beim Wismuth, Antimon und Arsen die Spaltbarkeit winkelrecht auf der Magnekrystallaxe eine sehr leichte ist (2475. 2510. 2532.) Allein es ist daran zu erinnern, dafs die Spaltbarkeit (und deshalb die Cohäsion) nicht das Einzige ist, was in Betracht kommt; denn beim Kalkspath fällt sie weder mit der aeqatorialen, noch mit der axialen Richtung desselben im Magnetfelde zusammen; zum vollen Verständnifs aller dieser Punkte müssen wir auch den polaren (oder axialen) Zustand der Theilchen der Massen in Betracht ziehen.

2605. Ich bin auch genöthigt zuzugeben, dafs, wenn

Digitized by Google

man zwei Kalkspathkrystalle mit ihren optischen Axen rechtwinklich auf einander zusammenfügt, man ein System erhält, welches in Richtung der Kraft das Wismuth getreu darstellt, d. h. welches im Magnetfelde anscheinend nur eine Kraftlinie und zwar in axialer Richtung zeigt, während es in Wahrheit durch ein System von zwei in aequatorialer Ebene liegenden Kräften bewegt wird. Ich will für jetzt nicht behaupten, dafs diefs nicht der Zustand der Dinge sey; allein ich glaube, dafs die Metalle, Wismuth, Antimon und Arsenik, gleich wie sie uns die stärksten Fälle, so auch die einfachsten von Magnekrystallkraft darbieten. Wie dem aber auch sey, so bin ich doch der Meinung, dafs die von Plücker entdeckten und die von mir in diesen beiden Abhandlungen beschriebenen Erscheinungen einen gemeinschaftlichen Ursprung haben.

2606. Bei den Plücker'schen Krystallen (Kalkspath, Turmalin, rothem Cyaneisenkalium) wiederholte ich in Bezug auf die Frage über die Ursprünglichkeit oder Einprägligkeit der Kraft (2576) alle früheren Versuche und Betrachtungen und kam zu demselben Schlufs wie damals (2584).

2607. Ich konnte nicht finden, dafs Krystalle von rothem Cyaneisenkalium oder Turmalin vom tellurischen Magnetismus afficirt werden (2581) oder auf einander wirken (2582). Ebenso wenig konnte ich finden, dafs der von Plücker beim Kalkspath und rothen Cyaneisenkalium beobachtete Effect ein attractiver oder repulsiver sey; er ist nur ein richtender (2550. 2560). Alle diese Umstände überzeugten mich, dafs die bei seinen und bei meinen Versuchen wirksame Kraft eine und dieselbe ist [1]).

2608. Ein kleines Kalkspathrhomboëder wurde im Magnetfelde so stark erhitzt, als es mit einer Weingeist-

1) Die optische Axe ist die Richtung schwächster optischer Kraft, und, nach Plücker's Versuchen, coïncidirt sie mit dem, was ich in meinen Resultaten als die Richtung des Minimums der Magnekrystallkraft ansehe. Mehr als wahrscheinlich ist, dafs, wo man beide Reihen von Effecten (seyen sie wahrhaft oder nur nominell verschieden) an einem und demselben Körper beobachten kann, die Richtung des Maximum-Effects mit der des Minimum-Effects zusammenfällt.

Digitized by Google

lampe möglich ist (2570), wenigstens bis zur vollen Rothgluth des Kupfers; allein es richtete sich so gut wie zuvor. Ein kurzer dicker Turmalin, bis zu demselben Grade erhitzt, stellte sich ebenfalls gut ein. So wie er erkaltete, ward er indefs stark magnetisch, und schien für Versuche in niederer Temperatur ganz unbrauchbar geworden zu seyn; allein als er einige Sekunden in Königswasser digerirt und dadurch etwas Eisen von seiner Oberfläche fortgenommen worden war, stellte er sich gut, wie zuvor, übereinstimmend mit dem Plücker'schen Gesetz. Durch die Flamme und Hitze war an der Oberfläche ein wenig Oxyd zu Oxydul reducirt und diefs hatte den Magnetismus veranlafst.

2609. Es giebt eine allgemeine und, wie mir scheint, wichtige Beziehung zwischen Plücker's magneto-optischen Resultaten und denen, die ich früher mit schwerem Glase und anderen Körpern erhielt (2152 etc.). Wenn diese Körper dem Einflufs starker magnetischer oder elektrischer Kräfte ausgesetzt werden, so gerathen sie in einen besonderen Zustand, in welchem sie auf einen polarisirten Lichtstrahl einzuwirken vermögen. Die Wirkung besteht in einer Drehung des Strahles, wenn er parallel den Magnekraftlinien oder, anders gesagt, in axialer Richtung durch den Körper geht; geht er aber in aequatorialer Richtung, so erfolgt keine Wirkung. Die aequatoriale Ebene ist also diejenige, in welcher der Zustand der Molecularkräfte hinsichtlich ihres Einflufses auf das Licht am wenigsten gestört wird. So auch in Plücker's Resultaten: Die optische Axe oder, wenn deren zwei da sind, die optischen Axen stellen sich unter magnetischem Einflufs in jene Ebene und sind auch die Linien, in welchen die Wirkung auf polarisirtes Licht am schwächsten oder Null ist.

2610. Könnte ein Stück schweres Glas oder eine Portion Wasser, vor der Aufhängung im Magnetfelde, in diesen Zwangszustand versetzt werden, so würde es sich bei freier Beweglichkeit so stellen, dafs die Ebene ohne Wirkung auf das Licht aequatorial zu stehen käme, gerade wie

Digitized by Google

es mit einem Kalkspath oder Turmalin in Plücker's Versuchen der Fall ist. Und so wie hierbei der magnetische oder diamagnetische Charakter keinen Unterschied in dem allgemeinen Resultat bedingt, so ist auch bei meinen Versuchen der optische Effect bei beiden Klassen von Substanzen von gleicher Richtung und gleichen Gesetzen unterworfen (2185. 2187).

2611. Trotz dieser allgemeinen Gleichheit in der Hauptsache ist doch, was Anordnung der Kräfte betrifft, eine sehr grofse Verschiedenheit im Krystall und schwerem Glase vorhanden, und eine noch gröfsere besteht darin, dafs das schwere Glas seinen Zustand nur während der Induction durch Zwang annimmt, während der Krystall denselben ungezwungen, natürlich und permanent besitzt. In beiden Fällen ist jedoch der Zustand, sey er natürlich oder aufgedrungen (*induced*), ein Zustand der Theilchen, und der Vergleich der Wirkung des Lichts auf das Glas unter Zwang und auf den Krystall in Natürlichkeit zeigt, dafs der Magnet ein Vermögen hat, den Körpertheilchen, selbst den Flüssigkeitstheilchen (2184), etwas Aehnliches wie das zur Krystallisation Erforderliche, einzuprägen (*induce*).

2612. Wenn diese Betrachtungen irgend Werth haben, und wenn die vom Wismuth- und Kalkspathkrystall geäufserten Kräfte gleich sind (2607), so steht ferner zu glauben, dafs in dem Wismuth und ähnlichen Metallen, wenn sie der Kraft eines Magnets unterworfen sind, zugleich eine eingeprägte (*induced*) (2584) und eine präexistirende Kraft (2577) vorhanden ist. Die letztere mag als die Krystallisationskraft unterschieden werden und läfst sich nachweisen zuerst durch solche Körper, die, ohne unter Induction zu stehen, optische Axen und Kraftlinien zeigen, dann durch die Symmetrie der ganzen Masse und die Festigkeit der Magnekrystallkraftlinien in Körpern, welche dieselbe experimentell besitzen.

2613. Ich habe von der Magnekrystallaxe als von einer gegebenen Linie oder Richtung gesprochen; ich wünschte jedoch nicht so verstanden zu seyn, als setzte ich voraus,

Digitized by Google

dafs rings um dieselbe die Kraft abnehme oder der Zustand sich ändere in gleichem Verhältnifs. Wahrscheinlich ist vielmehr, dafs die Veränderung verschieden ist in verschiedenen Richtungen, je nach den Kräften, die den Krystallen Gestaltverschiedenheiten geben. Die Anordnung der Kraft mag späterhin genau ermittelt werden durch Anwendung guter Krystalle, eines unveränderlichen Stahlmagnets (2485, 2528) oder eines regulirten Elektromagnets, flachseitiger Pole (2463) und Torsion (2500. 2530).

2614. Ich kann diese Reihe von Untersuchungen nicht schliefsen, ohne bemerklich zu machen, wie rasch unsere Kenntnifs von den Molecularkräften wächst, wie schlagend jede Forschung uns deren Wichtigkeit mehr entfaltet und deren Studium anziehender macht. Vor wenig Jahren noch war uns der Magnetismus eine dunkle, nur auf wenige Körper wirkende Kraft; jetzt wissen wir, dafs er auf alle Körper wirkt und in innigster Beziehung steht zur Elektricität, Wärme, chemischen Action, zum Licht, zur Krystallisation, und, durch diese wiederum, zu den Cohäsionskräften. Bei solchem Zustande der Dinge mögen wir uns wohl angetrieben fühlen, unsere Arbeiten fortzusetzen, ermuthigt durch die Hoffnung, den Magnetismus selbst mit der Gravitation in Verbindung zu setzen.

Royal Institution, 20. Oct. 1848.

VI. Zusatz. Ueber die Lage eines Eisenvitriolkrystalls im Magnetfelde.

2615. Wiewohl Effecte der folgenden Art allgemein sind, so glaube ich doch angeben zu müssen, dafs ich sie hauptsächlich bei Anwendung von Magnetpolen (2247) erhalten habe, deren Grundrifs und Seitenansicht in Fig. 6 Taf. I. gegeben sind. Die ihrer Wirkung ausgesetzten Krystalle wurden an Coconfäden aufgehängt, so, dafs sie mit der oberen Fläche der Pole im Niveau schwebten.

2616. Es wurde ein prismatischer Eisenvitriol-Krystall ausgewählt, der 0,9 Zoll lang, 0,1 Zoll breit und 0,05

Digitized by Google

Zoll dick war; seine Magnekrystallaxe coïncidirte mit der Dicke und war daher ganz oder fast parallel der Tafel (2546). Als er wie oben beschrieben aufgehängt, und der Magnet (2247) durch zehn Grove'sche Plattenpaare erregt worden, stellte er sich transversal oder mit seiner *Magnekrystallaxe* parallel der Magnetaxe, sobald der Abstand zwischen den Polen 2,25 Zoll oder mehr betrug; war aber dieser Abstand nur 2 Zoll oder weniger, so stellte er sich mit seiner Länge axial, oder beinahe so, und seine Magnekrystallaxe also quer gegen die Magnetkraftlinien. Bei Abständen zwischen 2 und 2,25 Zoll nahm das Prisma mehr oder weniger schiefe Lagen (2634) gegen die axiale Linie an, und so ging es allmälig von einer Lage in die andere über. Diesen intermediären Abstand will ich für jetzt den *n* (neutralen) Abstand nennen.

2617. Wurde, bei 2 Zoll Abstand der Pole, der Krystall langsam herabgelassen, so ging er durch dieselben intermediären schiefen Lagen in die transversale über, und dasselbe erfolgte, als er gehoben wurde; bei jedem kleineren Abstande erfolgten dieselben Uebergänge, nur später. Sie traten beim Heben des Krystalls rascher ein als beim Senken, doch nur wegen der Unsymmetrie in der Anordnung und Intensität der Magnetkraftlinien rings um die Magnetaxe, in Folge der Hufeisenform des Magnets und der Gestalt der Pole. Wären zwei Cylindermagnete mit konischen Polen angewandt worden, würden ohne Zweifel die entsprechenden Veränderungen in der Lage des Krystalls bei gleichen Hebungen und Senkungen eingetreten seyn.

2618. Diese Veränderungen rühren nicht blofs her von Abnahme der Magnetkraft mit der Ferne, sondern auch von Unterschieden in der Form und Richtung der Kraftresultanten. Diefs geht daraus hervor, dafs wenn der Krystall in der ersten Lage, wo er seine Länge axial stellt, gelassen wird, keine Verringerung der Magnetkraft diese Lage ändert. So bleibt der *n* Abstand (2616) ungeändert, man mag zur Erregung des Magnets ein oder zehn Grove'sche

Digitized by Google

Paare anwenden, ja selbst zum Gebrauch eines gewöhnlichen Hufeisenmagnets hinabsteigen.

2619. Veränderungen in der Länge des prismatischen Krystalls haben einen bedeutenden Einfluſs auf das Resultat. Je kürzer der Krystall, desto kleiner der *n* Abstand, während alle übrigen Erscheinungen gleich bleiben. Ein 0,7 langer Krystall, der aber dicker als der letzte war, hatte als Maximum des *n* Abstandes 1,7 Zoll. Ein noch kürzerer Krystall hatte das Maximum des *n* Abstandes bei 1,1 Zoll. In allen diesen Fällen bewirkte eine Aenderung der Stärke des Magnets keine merkliche Verschiedenheit.

2620. Eine Veränderung in der mit der Magnekrystallaxe zusammenfallenden Dimension des Krystalls wirkt ein auf den *n* Abstand; eine Vergröſserung der Länge der Magnekrystallaxe verringert diesen Abstand, und eine Verkürzung jener, vergröſsert diesen. Dieſs zeigte sich auf zweierlei Weise, erstlich, indem man neben dem früheren Krystall einen zweiten in symmetrischer Lage anbrachte (2636), wodurch der *n* Abstand auf 1,75 bis 2 Zoll herabgebracht ward, und zweitens, indem man nach einander zwei Krystalle von gleicher Länge, aber verschiedener Dicke anwandte. Der dickere hatte den kleineren *n* Abstand.

2621. Eine Veränderung in der Dicke d. h. senkrechten Dimension des Krystalls hatte keinen merklichen Einfluſs auf den *n* Abstand, kann es auch theoretisch nicht haben, so lange nicht die Ausdehnung auf- und abwärts die oberen und unteren Theile in die Bedingung des Hebens und Senkens versetzt (2617).

2622. Eine Veränderung in der Form der Pole wirkt ein auf den *n* Abstand. Je spitzer sie sind, je mehr wächst der Abstand; dagegen nimmt dieser ab, so wie sie stumpfer werden bis zur vollen Flachheit (2463).

2623. Bei kurzen Krystallen oder bei stumpfen Polen ist es oft nöthig die Kraft des Magnets zu verringern, weil sonst der Krystall leicht zu dem einen oder anderen Pol hingezogen wird. Dieſs kann jedoch durch Anwendung

Digitized by Google

einer oben und unten befestigten verticalen Axe (2554) vermieden werden, und dann zeigt sich, dafs eine Verschiedenheit in der *Stärke* des Magnets fast oder ganz gleichgültig ist für die Resultate.

2624. Diese Erscheinungen entspringen wahrscheinlich aus dem wesentlichen Unterschied, welcher zwischen der gewöhnlichen magnetischen und der magnekrystallischen Action besteht, in sofern die erste *polar* und die zweite nur *axial* ist (2472). Eine magnetische Substanz, Eisen z. B., in das Magnetfeld gebracht, wird sogleich polar, d. h. an den Enden verschiedenartig. Sind viele Eisentheilchen vorhanden, so werden sie alle polar, und bei freier Beweglichkeit ordnen sie sich axial, vereint mit einander durch entgegengesetzte Pole, und dadurch wird die Polarität der Theilchen an den Enden erhöht. Diefs nun scheint durchaus nicht mit den unter Einflufs der Magnekrystallkraft stehenden Theilchen der Fall zu seyn; die Kraft scheint gänzlich axial zu seyn, und daher wahrscheinlich der Unterschied in obigen und vielen anderen Resultaten.

2625. Hängt man z. B. vier oder mehre kleine Eisenwürfel in einem Magnetfelde von gleichmäfsiger Kraft (2465) auf, so werden sie polar; verfährt man ähnlich mit vier Würfeln von krystallisirtem Wismuth, so stellen sie sich ein. Fügt man die Eisenwürfel nach Richtung der aequatorialen Linie zusammen, so bilden sie ein Aggregat in instabiler Gleichgewichtslage, und sogleich drehen und stellen sie sich als Ganzes mit der Länge axial; die Wismuthwürfel erleiden dagegen durch solche Anordnung keine merkliche Aenderung.

2626. Die *äufsersten* (und die übrigen) Eisenwürfel haben in der Längs-Anordnung eine stärkere Polarkraft als sie zuvor hatten, und die ganze Gruppe dient gleichsam als Conductor für die Magnetkraftlinien; denn viele derselben concentriren sich auf das Eisen, und zwischen den Enden der Würfelreihe und den Magnetpolen ist die In-

Digitized by Google

tensität der Kraft stärker als an anderen Stellen des Magnetfeldes. Dieſs ist nicht der Fall bei den Wismuthwürfeln; denn wie sie auch angeordnet seyn mögen, wird doch durch sie, so weit die bisherigen Versuche reichen, die Intensität der Kraft im Magnetfelde nicht abgeändert; auch scheint die Intensität der Krystallmolecule dieselben zu bleiben.

2627. Ein Stück Eisen in ein Feld von gleichmäſsiger Magnetkraft gebracht und einem der Pole genähert, haftet an diesem und stört die Intensität des Feldes, indem es einen spitzen Pol mit divergirenden Kraftlinien schafft. Ein Wismuthkrystall schwingt in jedem Theil des Feldes (2467) mit nahe gleicher Stärke und stört nicht die Vertheilung der Kraft.

2628. In Betracht aller dieser Vorgänge und Zustände scheint mir das Vorkommen des *n* Abstandes bei einem Körper, der zugleich magnetisch und diamagnetisch ist, sich zurückführen zu lassen auf das, was sie und ihre Unterschiede hervorruft, nämlich auf die *Polarität* des magnetischen Zustandes; und die *Axialität* des magnekrystallischen Zustandes. Gesetzt, man habe ein gleichförmiges Magnetfeld von drei Zoll zwischen den Polen und es sey in der Mitte desselben ein Stab aus magnetischer Substanz von einem Zoll in Länge aufgehängt; vermöge der Polarität, die er erlangt, wird er sich axial stellen, und mit seiner Masse die Magnetkraft fortführen oder leiten, weit besser als es derselbe Raum zuvor that, so dafs die Kraftlinien zwischen den Enden dieses Stabes und den Magnetpolen concentrirt und intensiver gemacht werden als sie sonst wo in dem Magnetfelde sind. Nähert man die Pole dem Stabe, so wird dieser Effect zunehmen und der Stab immer mehr Magnetkraft leiten, sich auch mit verhältnifsmäfsiger Stärke einstellen. Nicht blofs das Magnetfeld wird intensiver durch Annäherung der Pole, sondern auch der vom Stabe fortgeführte Antheil der Kraft wird gröfser im Vergleich zu dem, welchen ein gleicher Raum des Magnefeldes daneben fortführt.

2629. Wird aber ein ähnlicher Stab von magnekry

Digitized by Google

stallischer Substanz in das Magnetfeld gebracht, so steigt seine Kraft nicht in derselben Weise oder in so starkem Verhältnifs durch Annäherung der Pole. Es leidet keinen Zweifel, dafs nicht eine solche Annäherung die Intensität der Kraftlinien und deshalb auch die des magnekrystallischen Zustandes erhöhe; allein dieser Zustand scheint nicht von Polarität herzurühren, und der Stab leitet durch sich hin nicht mehr Kraft, als sonst durch einen gleichen Raum des Magnetfeldes fortgeführt wäre. Daher nimmt denn auch seine Richtkraft nicht so rasch zu, als die des eben erwähnten magnetischen Stabes.

2630. Nehmen wir nun einen Stab, der, wie ein Eisenvitriol-Prisma, zugleich magnetisch und magnekrystallisch ist, und seine Magnekrystallaxe winkelrecht auf seiner Länge zu liegen hat, so wird er, zweckmäfsig aufgehängt, einen n Abstand der Pole haben müssen, innerhalb dessen die Kräfte nahe im Gleichgewicht sind; bei einem gröfseren Abstande der Pole wird die Magnekrystallkraft überwiegen, bei einem geringeren Abstand die Magnetkraft; einfach deshalb, weil die Magnetkraft vermöge der wahren Polarität der Theilchen rascher wächst und rascher abnimmt als die Magnekrystallkraft.

2631. Diese Ansicht stimmt auch mit der Thatsache, dafs eine Veränderung der Kraft des Magnets den n Abstand nicht verändert (2618. 2619); denn wenn diese Kraft verdoppelt oder vervierfacht wird, werden auch zugleich die magnetische und die magnekrystallische Kraft verdoppelt und vervierfacht, und das Verhältnifs derselben bleibt ungeändert.

2632. Das Heben und Senken des Krystalls über oder unter die Linie des Maximums der Magnetkraft ist im Princip offenbar aequivalent mit der Trennung der Pole und deshalb mufs es entsprechende Wirkungen hervorbringen, wie es auch der Fall ist (2617). Ueberdiefs sind, wenn der Krystall über das Niveau der Krystalle gehoben ist, die durch ihn gehenden Resultanten der Magnetkraft nicht mehr seiner Länge parallel, sondern mehr oder weniger

Digitized by Google

gekrümmt, so dafs sie dann vermuthlich nicht mehr so kräftig wie bei paralleler Lage den ganzen Krystall in einem gehörig polaren magnetischen Zustand versetzen können; dagegen scheint, hinsichtlich der Erregung des magneto-krystallischen Zustandes, jedes Theilchen unabhängig von den übrigen afficirt zu werden, und deshalb ist hier von der vereinten Wirkung kein Verlust an Effect zu verspüren.

2633. Hr. Plücker erzählte mir, als er im August in England war, dafs die Abstofsungskraft der optischen Axe, bei Veränderung des Abstandes, rascher ab- oder zunimmt als die Magnetkraft, allein in ihrem Verhältnifs zu letzterer nicht verändert wird durch Anwendung eines stärkeren oder schwächeren Magnets. Diefs ist offenbar derselbe Effect als der eben beschriebene, und macht mich noch mehr überzeugt, dafs seine und meine Resultate aus einer und derselben Ursache entspringen (2605 2607).

2634. Ich habe gesagt, dafs der Eisenvitriol-Krystall sich, innerhalb des n Abstandes, mehr oder weniger schief einstellt (2616); ich will nun die Umstände specieller angeben. Wird der n Abstand so eingerichtet, dafs der zwischen den Magnetpolen schwebende prismatische Krystall einen Winkel von 30° (oder jeder Gröfse) mit der axialen Linie macht, so findet sich, dafs er noch eine andere stabile Lage annehmen kann, nämlich die diametrale (2641); allein dafs die Schiefe immer auf derselben Seite der axialen Linie liegt, und der Krystall nicht mit derselben Schiefe von 30° auf der anderen Seite der Magnetaxe einspielt.

2635. Eine Drehung des Krystalls von 180° um eine Verticalaxe ändert die Neigung und die anfängliche Richtung nicht; denn sie giebt dem Krystall nur eine diametrale Lage. Dreht man aber den Krystall 180° um eine horizontale Axe, entweder um die mit der Länge zusammenfallende, welche das Maximum der magnetischen Richtung vorstellt, oder um die der Breite entsprechende, welche

Digitized by Google

mit der Magnekrystallaxe coïncidirt, so bleibt zwar die Schiefe ihrem Betrage nach ungeändert, aber sie liegt auf der anderen Seite der axialen Linie.

2636. So verhalten sich alle prismatischen Eisenvitriolkrystalle, die ich untersucht habe. Der Effect ist sehr bestimmt; und wie zu erwarten, wenn zwei Krystalle in der Richtung ihrer Schiefe entsprechen, so entsprechen sie auch einander in der Lage ihrer Form und der Richtung ihrer verschiedenen Flächen.

2637. Alle diese Verschiedenheiten der Lage deuten auf eine schiefe Resultante der aus der vereinten Wirkung der magnetischen und der magnekrystallischen Kraft entspringenden Richtkraft; und sie würden sich erklären durch die Annahme, dafs die Magnekrystallaxe oder die Linie des Maximums der Magnekrystallkraft nicht winkelrecht ist auf den Hauptflächen (oder Endflächen) des Krystalls, sondern ein wenig geneigt in Richtung der Länge.

2638. Mag diefs der Fall seyn oder auch die Maximum-Linie der Magnetkraft ein wenig gegen die Länge des Prismas neigen, so liefert doch der *n* Abstand eine vortreffliche experimentelle Gelegenheit, diese Neigung, wie klein sie auch seyn möge, zu untersuchen, da der Einflufs der einen oder anderen in jedem erforderlichen Grade mit Leichtigkeit vorwaltend gemacht werden kann.

Royal Institution, 5 Dec. 1848.

2639. *Note.* (2591). Es läfst sich noch eine Voraussetzung aufstellen. Schon habe ich gesagt, dafs man die Einstellung ohne Anziehung und Abstofsung durch die Annahme eines blofs axialen Zustandes (2587. 2591) erklären würde. Gesetzt nun, es wäre möglich, die Molecule würden polar in Bezug auf den Nord- und Südpol des Magnets, *doch ohne Relation unter einander*, so könnte der Wismuth- oder anderweitige Krystall sich einstellen wie wenn er blofs mit axialer Kraft begabt wäre; allein es scheint mir sehr unwahrscheinlich, dafs die Polaritäten eines gegebenen Theilchens in einem Krystall dem Einflufs der Pola-

Digitized by Google

ritäten der entfernten Magnetpole unterworfen seyn sollten, und nicht auch den ähnlichen Polaritäten der benachbarten Theilchen.

III. *Vier und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität;* von *Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Philosoph. Transact. f.* 1851.)[1])

§. 30. Ueber den möglichen Zusammenhang der Schwerkraft mit der Elektricität.

2702. Die lange und beständige Ueberzeugung, dafs alle Naturkräfte von einander abhängen, einen gemeinschaftlichen Ursprung haben oder vielmehr nur verschiedene Aufserungen Einer Grundkraft (2146) seyen, hat mich oft daran denken lassen, ob es nicht möglich sey, einen Zusammenhang zwischen Schwerkraft und Elektricität experimentell nachzuweisen, und somit die erstere einzureihen in die Gruppe, welche, auch Magnetismus, chemische Kraft und Wärme einschliefsend, so viele und so verschiedenartige Kraftäufserungen durch gemeinsame Beziehungen verknüpft. Obwohl meine Untersuchungen über diesen Gegenstand nur negative Resultate gegeben haben; so glaube ich doch, dafs eine kurze Angabe von dem Gegenstande wie er sich mir zuerst darbot, und von den Resultaten der Versuche, die anfangs sehr ermuthigend waren, aber bei sorgfältiger Nachspürung der Fehlerquellen sich auf ihren wahren Werth reducirten, nicht nutzlos seyn werden, sowohl um das Problem im Allgemeinen zu bezeichnen, als auch um Andere auf dasselbe aufmerksam zu machen.

2703. Beim Nachdenken über ein Princip, auf welches

1) Die 23. Reihe findet sich im Bd. 82 (S. 75 und 232) dieser Annalen.

Digitized by Google

ches eine experimentelle Forschung nach der Identität oder Relation zweier Kräfte gegründet werden könnte, schien es, dafs, wenn eine solche Relation existirte, etwas in der Schwerkraft liegen müfste, welches der dualen oder antithetischen Natur der Kraftformen in der Elektricität und dem Magnetismus entspräche. Mir schien es möglich, dafs das Fallenlassen (*ceding to the force*) oder Annähern gravitirender Körper einerseits, und die kräftige Umkehrung der Kraft oder die Trennung dieser Körper andererseits die Correspondenzpunkte darbieten möchten; Ruhe wäre (in Bezug auf Bewegung) der neutrale Zustand. Die endliche Unveränderlichkeit der Schwerkraft wäre einer solchen Voraussetzung nicht entgegen; denn bei Ruhe würden die wirkenden Körper immer dieselbe Beziehung zu einander haben, und nur während der Bewegung hin und her würde irgend ein mit der Elektricität verwandtes Resultat zu erwarten seyn. Solche Resultate, wären sie möglich, könnten nur äufserst klein seyn, allein, wenn sie *möglich* d. h. wirklich wären, würden keine Worte den Werth der durch sie festgestellten Beziehung übertreiben können.

2704. Der Gedanke, auf welchem diese Versuche begründet wurden, war: dafs, während zwei Körper vermöge der Schwerkraft sich einander nähern, in ihnen oder in der umgebenden Materie elektrische Ströme in einer Richtung entwickelt, und wenn sie durch eine äufsere Kraft von einander ab, gegen die Schwerkraft, bewegt würden, dergleichen Ströme in umgekehrter Richtung hervorgebracht werden könnten; ferner, dafs diese Ströme in Beziehung ständen zu der Linie des Näherns und Entfernens, und nicht zum Raum im Allgemeinen, so dafs zwei einander nähernde Körper Ströme von entgegengesetzter Richtung in Bezug auf den Raum hätten, aber, bezüglich ihrer Bewegung längs der sie verknüpfenden Linie, Ströme von gleicher Richtung. Es wäre unnöthig, weiter in die hieraus entspringenden Voraussetzungen einzugehen oder den Effect der gezwungenen, entweder mit der Gravitation der

Digitized by Google

Erde coïncidirenden oder sie durchkreuzenden Bewegungen zu betrachten; nur mag gesagt seyn, dafs, da der erwartete Effect jedenfalls ungemein klein seyn mufste, keine Hoffnung auf Erfolg anders als mittelst der Gravitation der Erde gehegt wurde. Zu dem einen Körper wurde also die Erde genommen, und mit irgend einem anderen der Versuch angestellt.

2705. Zunächst wurde der Körper, den man fallen liefs, mit einer Drahtrolle umgeben, und dann der Effect seines Fallens beobachtet. Man kann dabei den Körper mit der Drahtrolle oder durch dieselbe fallen lassen. Es wurde daher übersponnener Kupferdraht von 350 Fufs Länge zu einem hohlen Cylinder von 4 Zoll Länge, 1 Zoll innerem und 2 Zoll äufserem Durchmesser aufgewickelt, und dieser dann an einer Schnur befestigt, die über eine leichte Rolle ging, vermöge welcher er 36 Fufs gehoben, und dann mit beschleunigter Geschwindigkeit, bei steter Senkrechtheit seiner Axe, auf ein sehr weiches Kissen fallen gelassen werden konnte. Lange übersponnene Drähte wurden mit seinen beiden Enden verknüpft, und, zusammengedreht, zu einem sehr empfindlichen Galvanometer geführt, welches 50 Fufs von der Falllinie entfernt, im Niveau mit der Mitte derselben aufgestellt war. Endlich überzeugte man sich von der Genauigkeit der Verknüpfungen und der Richtung der Einstellung der Nadel durch Einschaltung einer kleinen Thermokette in die Leitung. Das Heben und Senken einer solchen Drahtrolle kann keine Ablenkung der Galvanometers durch einen vom Erdmagnetismus herrührenden Strom verursachen; denn da sie während des Falls sich selbst parallel bleibt, so werden auch ihre Drahtwindungen an beiden Seiten von den Linien gleicher Magnetkraft, welche der magnetischen Neigung parallel sind, mit gleicher Geschwindigkeit durchschnitten, und folglich kann keine magnetoelektrische Induction zu Stande kommen. Wirklich zeigte auch diese Drahtrolle beim Aufsteigen oder Fallen keine Spur von Wirkung auf das Galvanometer, es mochte die Verbindung mit dem Galvanometer während der ganzen

Digitized by Google

Zeit unterhalten, oder just vor der Verringerung oder Aufhebung der Bewegung unterbrochen, oder auch das Heben und Fallenlassen isochron mit den Schwingungen der Galvanometernadel bewerkstelligt werden. So schien, wiewohl die Schwerkraft keinen Effect in der Drahtrolle selbst ausübte, doch keine Fehlerquelle aus dieser Benutzungsweise derselben zu entspringen.

2706. Nun wurde ein solider Kupfercylinder, von 0,75 Zoll Durchmesser und 7 Zoll Länge, in die Drahtrolle gesteckt, sorgfältig darin befestigt und mit Tuch umwickelt, so dafs er sich nicht bewegen konnte; diese zusammengesetzte Vorrichtung wurde, wie die frühere, fallengelassen (2705). Sie gab sehr kleine, aber merkwürdig regelmäfsige Anzeigen von einem Strome im Galvanometer, und die Wahrscheinlichkeit, dafs diese von der Schwerkraft herrührten, erhöhte sich, als man fand, dafs beim Heben der Drahtrolle oder des Kerns ähnliche Anzeigen von entgegengesetzten Strömen erschienen. Es verging einige Zeit, ehe ich diese Ströme auf ihre wahre Ursache zurückzuführen vermochte; allein zuletzt entdeckte ich diese in der Wirkung eines Theils der Verbindungsdrähte, die von der Rolle zum Galvanometer führten. Die beiden Drähte waren regelmäfsig zusammengedreht, allein in Folge des öfteren Fallens hatte sich ein Theil in der Mitte zu einer Art Schleife aufgelöst, so dafs die Drähte, statt wie die Stränge eines Taues dicht zusammengedreht zu seyn, auf einer Strecke von drei Fufs neben einander fortliefen. Beim Fallen öffnete sich diese Schleife mehr oder weniger, aber immer in derselben Weise; und die Folge davon war, dafs der Theil von ihr, welcher die transversale Oeffnung bildete und am weitesten vom Galvanometer war, einen gröfseren Raum durchwanderte als der nächste Theil am Galvanometer. Hätten sie gleichen Raum durchwandert, so würde der Effect der Kraftlinien des Erdmagnetismus auf sie gleich gewesen seyn und es hätte keine Wirkung auf das Galvanometer erzeugt werden können; so aber wurden Ströme von entgegengesetzter Richtung und ungleicher Stärke erregt, und

Digitized by Google

es mufste also ein dem Unterschied gleicher Strom wirklich zum Vorschein kommen. Ein solcher Fall ist in meinen früheren Versuchen über die Erdmagneto-elektro-Induction (171) beschrieben. Offenbar mufste der Strom in umgekehrter Richtung erscheinen, so wie Rolle und Drähte in der Luft gehoben wurden, und dadurch entstand der eben beschriebene umgekehrte Effect. Deshalb lieferte diese Anwendung des Kupferkerns in der Drahtrolle keinen positiven oder günstigen Beweis für die ursprüngliche Voraussetzung.

2707. Das Kupfer war gewählt worden, weil es ein schwerer Körper und vortrefflicher Elektricitätsleiter ist. Statt seiner wurde nun ein gleicher Cylinder von Wismuth genommen, als eine äufserst diamagnetische und, unter den Metallen, schlecht leitende Substanz. Es ergaben sich unsichere Anzeigen; allein bei genauer Achtsamkeit erst auf diesen, dann auf jenen Punkt, verschwanden alle Anzeigen, und das Heben und Fallenlassen des Wismuths hatte keine Wirkung auf das Galvanometer.

2708. Hierauf wurde ein Cylinder von *Eisen*, als einem magnetischen Metall, angewandt; allein als er in der Drahtrolle wohl befestigt worden, dafs er sich darin nicht bewegen konnte, war er so unwirksam wie der von Kupfer und Wismuth (2706 2707).

2709. Cylinder von Glas und Schellak, also nicht leitenden Substanzen, wurden gleichfalls ohne Erfolg angewandt.

2710. Bei anderen Versuchen war die Drahtrolle befestigt, und die verschiedenen Substanzen wurden, als Cylinder von 0,75 Zoll Durchmesser und 24 Zoll Länge, entweder hindurch fallen gelassen oder mit beschleunigter Geschwindigkeit aufwärts durchgezogen; allein in beiden Fällen war der Effect Null. Angewandt wurden Stäbe von Kupfer, Wismuth, Glas, Schellack und Schwefel. Bisweilen wurden diese Stäbe vor oder während ihres Falles in rasche Umdrehung versetzt, bisweilen auch anderen Abänderungen unterworfen, aber immer mit negativem Erfolg, wenn alle Fehlerquellen vermieden oder beachtet worden waren.

Digitized by Google

2711. Beim ferneren Nachdenken über die ursprüngliche Hypothese von einer Beziehung zwischen den Kräften und über die etwaigen Effecte eines Spannungszustandes in und zwischen den Körpertheilchen, welche, wie wir wissen, zugleich der Sitz von gravitirenden und elektrischen Kräften sind und der Gravitation der Erde unterliegen, schien es wahrscheinich, dafs das Hemmen der in der Schwerkraftlinie auf- und abgehenden Bewegung (2703. 2704), gleichviel, ob ein plötzliches oder allmäliges, entgegengesetzte Effecte wie das Anfangen dieser Bewegung haben würde, auch dafs eine Herabbewegung schneller als die, welche die Schwerkraft einzuprägen vermag, gröfsere Effecte als diese Kraft geben, und ebenso eine entsprechende Beschleunigung der Hinaufbewegung verhältnifsmäfsig wirksamer seyn würde. In solchem Fall würde eine Maschine, die einen raschen Wechsel von Hinauf- und Hinab-Bewegung gewährte, sehr nützlich seyn, um viele kleine Inductionswirkungen in beschränktem Raum und mäfsiger Zeit hervorzubringen; denn durch geeignete Commutatoren könnten die beschleunigten und verzögerten Theile jeder halben Schwingung gesondert und wieder zu einem übereinstimmenden Strom vereinigt werden, und dieser Strom liefse sich durch das Galvanometer senden, in einer Richtung, während die Nadel nach der einen Seite schwingt, und in der umgekehrten, während sie zurückschwingt; und so abwechselnd fort, bis der Effect, wenn überhaupt einer von der vorausgesetzten Ursache erzeugt würde, merklich geworden wäre.

2712. Die zu diesem Zweck von mir angewandte Maschine ist die in der letzten Reihe dieser Untersuchungen (2643) beschriebene, nur dafs der Elektromagnet, der zum Experimentiren dienende Kern und der ihn führende Stab entfernt waren; *a*, *b*, *c* (Fig. 7 Taf. I.) ist ein Brett, *ddd* ein hölzerner Hebel und *e* seine Axe; *f* die Kniescheibe und *g* die grofse Scheibe mit ihrer Handhabe *h*; *i* die Stange welche Kniescheibe und Hebel verknüpft; *q* das Galvanometer, *r* der Commutator; *w* Verbindungsdrähte; *s*, *s*

Digitized by Google

Springfedern von Messing oder Kupfer, *t* ein Kupferstab, der beide Hebelarme verbindet, um ihnen Festigkeit zu geben; *u* die hohle Drahtrolle, befestigt oder beweglich nach Belieben. Die Maschine ist im $\frac{1}{15}$ der natürlichen Gröfse dargestellt; sie konnte in jeder Lage aufgestellt werden. Der ihrer Wirkung unterworfene Cylinder von Metall oder anderer Substanz war 5,5 Zoll lang und 0,75 Zoll dick, festgehalten zwischen den Enden *d*, *d* der Hebelarme. Die Erstreckung der abwechselnden Bewegung betrug 3 Zoll. Eine hohle Drahtrolle *u* von 2,5 Zoll Länge und solchem inneren Durchmesser, dafs die Cylinder ihre raschen Hin- und Hergänge ohne Gefahr des Anstofsens an die Seiten vollziehen konnten, enthielt 516 Fufs übersponnenen Kupferdraht. Diese Drahtrolle (*this cylinder*) wurde entweder unverrückbar befestigt oder mit dem zu untersuchenden Cylinder fest verbunden, so dafs sie sich mit diesem bewegen mufste. Von dieser Drahtrolle führten Verbindungsdrähte zum Commutator und von da zum Galvanometer. Das Moment dieser Maschine wurde theilweise von den Federn *s*, *s* (2648) aufgefangen, und in entgegengesetzte Bewegung verwandelt; allein es blieb noch so viel desselben übrig, dafs grofse Sorgfalt in der Befestigung nöthig war, um der Maschine einen gleichmäfsigen Gang zu geben und Störungen im Cylinder und an der Drahtrolle zu verhüten, die sonst rasch eintreten und öfters elektrische Ströme verursachen.

2713. Cylinder von Eisen, Kupfer und anderen Substanzen in dieser Maschine angewandt, gäben leicht Elektroströme in verschiedener Weise. Eisen z. B. könnte vermöge der Polarität, die es unter dem Einflufs der Erde annimmt, magnetoelektrische Ströme geben, und diese liefsen sich am besten entdecken und sondern, wenn man durch zweckmäfsig angebrachte Magnete die durch das Eisen gehenden Magnetkraftlinien neutralisirte oder umkehrte. Ströme, wie die in Kupfercylindern und andern guten Leitern erzeugten, (2663. 2684) könnten durch Wirkung der Erde entstehen; allein da die Linien der Schwerkraft und des Erdmagne-

Digitized by Google

tismus gegen einander neigen, so könnte diese durch die Lage getrennt werden; überhaupt scheint mir, dafs es keinen Fehler giebt, den man nicht bei Sorgfalt vermeiden könnte. Ich will nicht beschreiben, wie diese Erkenntnifs erlangt wurde, sondern sogleich zu den Hauptresultaten übergehen.

2714. Der Kupfercylinder (2712) wurde in die Maschine eingesetzt und die Drahtrolle ihn umgebend unverrückbar befestigt, auch das Ganze in solche Lage gebracht, dafs der Cylinder senkrecht war und sich in der Drahtrolle auf und ab parallel der Linie der Schwerkraft bewegte. Wie rasch aber auch die Maschine arbeitete und welche Lage auch der Commutator hatte, so war doch kein Resultat am Galvanometer sichtbar. Cylinder von Wismuth, Glas, Schwefel, Guttapercha etc. gaben ebenfalls negative Resultate.

2715. Hierauf wurde die Drahtrolle von ihrer festen Unterlage entfernt, und an dem Kupfercylinder befestigt, so dafs sie sich nur mit diesem bewegen konnte. Jetzt erhielt man sehr regelmäfsige und verhältnifsmäfsig grofse Wirkungen; allein bald liefsen sich dieselben auf andere Ursachen als die Schwerkraft, nämlich auf folgende, zurückführen. Die Drahtrolle war auf dem einen Ende des Hebels befestigt, 22 Zoll von dessen Axe; und da sie 2 Zoll im Durchmesser hielt, waren ihre Drähte an der einen Seite nur 21 Zoll, an der anderen aber 23 Zoll von dieser Axe entfernt. Beim Vibriren bewegten sich also diese Theile mit Geschwindigkeiten und durch Räume, die sich wie 21 : 23 verhielten. Wenn daher diese Bewegungen quer auf den Linien des Erdmagnetismus geschahen, so suchten sich in diesen verschiedenen Theilen Elektroströme zu bilden, deren Stärke jenen Zahlen proportional waren und da die Unterschiede dieser Ströme beständig von den Commutatoren aufgesammelt wurden, so kamen sie am Galvanometer zum Vorschein. Diefs wurde sichtbar gemacht, indem man die Maschine so aufstellte, dafs, während die Schwingungsebene noch vertical war, die Drahtrolle sich

Digitized by Google

gerade unter der Bewegungsaxe befand, ihre Mittellinie also nicht vertical, sondern horizontal lag. Die Windungen der Drahtrolle schnitten nun die Magnetkraftlinien in der günstigsten Weise, und in Folge dess war der Commutator nicht mehr erforderlich, denn eine einzige Bewegung der Drahtrolle in einer Richtung reichte hin, die inducirten magneto-elektrischen Ströme am Galvanometer nachzuweisen. Wurde dagegen die Ebene der Bewegung horizontal gelegt, so liefs sich durch keinen Betrag von Bewegung ein Strom erregen; denn obwohl die Drahtrolle horizontal lag und nicht merklich mehr als zuvor, so bewegten sich doch jetzt die Drahtwindungen, welche (oben und unten) die magnetischen Kraftlinien schnitten, mit genau gleicher Geschwindigkeit, so dafs das Resultat des Unterschiedes Null seyn mufste.

2716. Das vorhergehende kleine Resultat (2715) mufste also wahrscheinlich von einem Effect dieser Art abhängen, und diefs bestätigte sich, als man die Maschine in solche Lage brachte, dafs die Axe des Cylinders und der Drahtrolle, in dem mittleren Theil ihrer Bewegung, parallel war der magnetischen Neigung; denn es entstand keine Wirkung, und andere Körper in derselben Lage waren gleichfalls unwirksam.

2717. Hier enden für jetzt meine Versuche; ihre Resultate sind negativ. Dennoch ist mein Glaube an das Daseyn einer Beziehung zwischen Schwerkraft und Elektricität dadurch nicht erschüttert.

Royal Institution, 19. Juli 1850.

Digitized by Google

IV. *Fünf und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Aus gleicher Quelle wie die vorhergehende Abhandlung.)

1. Nicht-Ausdehnung gasförmiger Körper durch Magnetkraft.

2718. Keinem Zweifel kann es unterliegen, dafs die magnetische, die diamagnetische und die magneoptische oder magnekrystallische Kraft, bei vollendeter Kenntnifs, sich uns als Eine Kraftform oder als wesentlich einerlei ergeben werden. Das verleiht dann dem Studium irgend einer dieser Kräfte ein grofses Interesse; denn wie stark sie auch in besonderen Punkten von einander abweichen, so ist doch kaum möglich, dafs die Einsicht in die eine, ohne einen entsprechenden Fortschritt in der Kenntnifs der anderen bleiben sollte. Angetrieben durch solche Betrachtungen, habe ich mich, wie Plücker, Weber und Reich, bemüht, die Wirkungsweise diamagnetischer und magnekrystallischer Körper mit einigen Graden von Genauigkeit auszumitteln, wovon die letzte Untersuchung (2640 etc.) über diese Frage von einer Polarität der diamagnetischen Körper, die der des Eisens entgegengesetzt sey, eins der Resultate war.

2719. Nachdem ich jedoch das Daseyn einer solchen Antipolarität vergebens aufgesucht, und dagegen gezeigt habe, wie ich glaube, dafs die von dieser abgeleiteten Erscheinungen aus anderen Ursachen entspringen, bin ich veranlafst worden, um etwas Genaueres über die Natur der diamagnetischen Körper zu erfahren, eine andere Idee zu verfolgen, welche durch die magnetischen und diamagnetischen Phänomene der Gase hervorgerufen war. Die dadurch erlangten Resultate sollen Gegenstand der vorliegenden Abhandlung seyn.

Digitized by Google

2720. Bancalari hat zuerst gezeigt, dafs die Flamme diamagnetisch ist [1]). Die Wirkung rührt, wie ich bewiesen habe, von dem heifsen Zustand des gasigen Theils der Flamme her [2]). Allein aufserdem scheinen die Gase in gewöhlichen Temperaturen diamagnetisch seyn zu können, und dabei auch sehr von einander abzuweichen [3]), so dafs z. B. Stickstoff und mehre andere Gase stark diamagnetisch sind gegen gemeine Luft, der Sauerstoff aber das Ansehen eines magnetischen Körpers hat, denn während ersterer abgestofsen wird aus dem Ort der stärksten Kraft des Magnetfeldes, wird letzterer dahin gezogen.

2721. Erinnert man sich des allgemeinen Gesetzes der Wirkung magnetischer und diamagnetischer Körper, dafs die ersteren von schwächeren zu stärkeren, und die letzteren von stärkeren zu schwächeren Orten der Magnetkraft zu gehen trachten, und wendet man dieses Gesetz auf Körper wie Gase an, die zugleich sehr elastisch sind und ihr Volum durch Hinzufügung sehr kleiner Kraftgrade verändern, so scheint zu folgen, dafs ein diamagnetisches Gas, weil seine Theilchen durch die Magnetkraft von Orten stärkerer Wirkung zu Orten schwächerer getrieben werden, sich im magnetischen Felde ausdehnen müsse. Denn der Kraftbetrag, mit welchem die Theilchen aus der Axe des Magnetfeldes zu weichen suchen, würde sich der Expansivkraft hinzufügen, durch welche sie vorhin dem Druck der Atmosphäre widerstanden; dieser Druck würde also zum Theil durch eine neue Kraft aufgewogen werden und davon wäre eine Ausdehnung das nothwendige Resultat. Andererseits wenn ein Gas magnetisch wäre, wie z. B. der Sauerstoff, würden die Theilchen desselben, vermöge der von der Magnetkraft direct auf sie ausgeübten Wirkung, gegen die Axe des Magnetfeldes getrieben werden, und indem diese Wirkung sich dem atmosphärischen Druck ad-

1) *Phil. Magazine* 1847 *Vol. XXXI. p.* 401. (Ann. Bd. LXXIII, S. 256.)
2) Ibid. p. 404. (Ann. Bd. LXXIII, S. 261.)
3) Ibid. p. 409. (Ann. Bd. LXXIII, S. 268.)

Digitized by Google

dirte würde eine Zusammenziehung oder Volumsverringerung erfolgen.

2722. Wenn sich diese Voraussetzungen als richtig erwiesen, würden wir zur Kenntnifs des wahren Nullpunktes (2416. 2432. 2440.) gelangen können [1]), nicht allein bei Gasen, sondern auch bei allen anderen Körpern; wir würden im Stande seyn zu sagen, ob ein Gas, wie Sauerstoff, magnetisch oder diamagnetisch sey, und könnten die Gase und übrigen Substanzen in gehörige Reihenfolge bringen. Bei dem Versuch, zu ermitteln, ob die Luft im Magnetfelde eine Volumsveränderung erleide, hatte ich anfangs kein Resultat erhalten, allein die entgegengesetzte Angabe Plücker's [2]) und die grofse Erweiterung, die unsere Kenntnifs von den diamagnetischen Beziehungen der Gase und deren grofse Unterschiede seitdem erlangte, ermuthigten mich, hierhin weiter zu gehen.

2723. Zunächst bemühte ich mich zu ermitteln, ob eine dem Magnetpol unmittelbar berührende Schicht von Luft oder sonst einem Gase eine Ausdehnung oder Zusammenziehung erleide, welche auf die Bahn eines Lichtstrahls einwirke und dadurch sichtbar werde. Es wurde daher in einem dunklen Raum vor der Flamme einer hellen Lampe ein Metallschirm mit einem Nadelloch aufgestellt, und somit ein künstlicher Stern oder kleiner wohl begränzender leuchtender Gegenstand gebildet. Sechs und vierzig Fufs davon entfernt stand der grofse Hufeisenmagnet (2247), bereit durch 20 Grove'sche Plattenpaare erregt zu werden. Die Pole befanden sich in der Richtung des Lichtstrahls, so dafs dieser erst 4 Zoll lang dicht über der Oberfläche des ersten Pols hinweg ging, dann 6 Zoll durch die Luft und nun 4 Zoll entlang dicht über der Oberfläche des zweiten Pols. Ein sehr schönes Fernrohr, Hrn. South gehörig, von 3 Zoll Apertur und 46 Zoll Brennweite, fing

1) Ibid. p. 409. (Ann. Bd. LXXIII, S. 268.)

2) *Ann. de chim. et de phys.* 1850, *T. XXIX. p.* 134. (Ann. Bd. LXXIII, S. 549.)

Digitized by Google

den Strahl auf; es war versehen mit einem vortrefflichen Mikrometer, so dafs die kleinste Veränderung in dem Orte des Lichtbildes an den Fäden entdeckt werden konnte. Die Axe des Fernrohrs lag eben über dem Niveau der Pole. Allein es war nicht die geringste Aenderung im Charakter oder Ort des Lichtbildes zu beobachten, weder beim Schliefsen noch beim Oeffnen der den Magnet erregenden Volta'schen Batterie.

2724. Da der hauptsächlichste Theil des zum Fernrohr gelangenden Lichts aus Strahlen bestand, welche in einiger Entfernung über den Magnetpolen fortgingen, so wurden diese durch einen Schirm abgeschnitten, welcher sich auf ein Achtelzoll dem Niveau der Pole näherte, so dafs nur innerhalb dieses Abstandes Licht fortgehen konnte. Die Intensität des Lichts war dadurch natürlich verringert und das Bild durch Inflexion verzogen; allein der Ort desselben wurde noch gut durch das Mikrometer angegeben. Die Zulassung oder Entziehung der Magnetkraft bewirkte indefs weder darin, noch in sonst einem Charakter die geringste Aenderung.

2725. Die Magnetpole wurden nun so verändert, dafs der Strahl zuweilen dicht neben einer langen rechtwinklichen Kante fortging, zuweilen zwischen zwei solchen Kanten, etwas darüber oder darunter und ihnen parallel, zuweilen oberhalb der Verbindungslinie zweier dicht zusammenstehender hemisphärischer Pole; aber weder in diesen Fällen, noch in vielen anderen, hatte die magnetische Wirkung irgend einen Einfluſs auf die Bahn des Strahls.

2726. Bei einem anderen Versuch wurde das Fernrohr fortgelassen und statt seiner eine blofse Karte mit einem Nadelloch von $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{100}$ Zoll im Durchmesser angewandt. Das Bild des Lichtsterns war im Dunklen durch das Nadelloch zu sehen, und dabei ging jeder zur Bildung desselben beitragende Strahl innerhalb eines Abstandes von $\frac{1}{50}$ Zoll neben der Oberfläche des Magnetpols fort; dennoch konnte kein von der Magnetkraft herrührender Effect beobachtet werden.

2727. Bei einer anderen Anordnung, welche einer der

Digitized by Google

früher von mir bei den Versuchen über den Diamagnetismus der Gase angewandten analog war [1]), konnte ich die Pole mit verschiedenen Gasen umgeben, und den Strahl auf 2 Zoll seines Laufes durch die Gase leiten, während sie unter dem Einfluſs des Magnets standen. Obwohl das Gas des einschlieſsenden Gefäſses das Bild des Gegenstandes d. h. des Lichtpunktes störte, so war doch leicht wahrzunehmen, daſs bei der Erregung des Magnetismus kein neuer Effect hinzutrat.

2728. So wurden angewandt: Sauerstoff, Stickstoff und Steinkohlengas; aber weder eins dieser Gase, noch die Luft selbst, zeigte im Contact mit dem Pol eines sehr kräftigen Magnets eine Ausdehnung oder Verdichtung bis zu dem Grade, daſs eine merkliche Aenderung in dem Brechvermögen eingetreten wäre.

2729. Um die erwarteten Volumsveränderungen mit den erlangten Resultaten zu vergleichen, lieſs ich den vom leuchtenden Gegenstand zum Auge gehenden Strahl in einem Abstand von $\frac{1}{50}$ Zoll neben einem Eisenstab von 7 Zoll Länge vorbeistreifen, und erhitzte nun den Stab allmälig bis, durch die Ausdehnung der ihn berührenden Luft, die Bahn des Lichtes merklich afficirt wurde; dazu war eine Erwärmung von vielen Graden erforderlich. Wenn bei 60° der Luft, der Stab bis 100° F. erwärmt wurde, war noch keine Wirkung da. Hieraus ergiebt sich, daſs die erwartete Volumsveränderung der Luft durch eine directe Messung viel deutlicher geworden wäre als mittelst der Brechkraft, denn sicher würde die Aenderung eines sehr kleinen von 60° bis 100° erwärmten Luftvolums auf ersterem Wege sehr sichtbar gewesen seyn. Andererseits wäre auch möglich, daſs wenn die Luft oder das Gas vom Magnet afficirt würde, dieſs nur in der unmittelbar den Pol berührenden Schicht geschähe, und also groſse Unterschiede nur längs den Ecken und Kanten vorkämen. Dadurch ward es nothwendig, gerade diese Theile durch einen Lichtstrahl zu untersuchen; es wurde daher mit aller Vorsicht

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 414. (Ann. Bd. LXXIII, S. 275.)

Digitized by Google

die Bahn des Strahls mehr oder weniger gegen die Kanten und Ränder der Pole geneigt, und ebenso wurden die Kanten und Ecken der Pole schwach convex gemacht, um mit dem Versuche jede Veränderung vorzunehmen, die einen magnetischen oder diamagnetischen Effect, sey es einen speciellen, localen oder allgemeinen, leichter wahrnehm machen könnten; aber ohne allen Erfolg.

2730. Nach Fehlschlagung dieser Versuche bemühte ich mich, das Volum der Luft, bevor und nachdem sie der Magnetkraft ausgesetzt worden, zu vergleichen; die Hoffnung auf diese Weise ein Resultat zu erlangen, wenn überhaupt die Magnetkraft eine solche Aenderung bewirken konnte, schien um so gröfser, als bekanntlich die Gase schon in beträchtlichem Abstande von der Oberfläche des Magnets eine starke diamagnetische Einwirkung erleiden, und als Plücker bereits angiebt, eine solche Volumsänderung erhalten zu haben (2722).

2731. Das erste zu diesem Zweck construirte Instrument war folgender Art. Aus zwei Klötzen weichen Eisens von 1 Zoll Dicke und 3 Zoll im Quadrat, mit eben gefeilten Flächen, und einem Kupfer-Blech von 3 Zoll im Quadrat und $\frac{1}{60}$ Zoll Dicke, dessen mittlerer Theil bis auf 0,3 Zoll vom Rande ringsum herausgeschnitten worden, wurde, indem man letzteres zwischen erstere legte und durch Kupferschrauben zusammenpreſste, eine luftdichte Kammer von $\frac{1}{60}$ Zoll Dicke und 2,4 Zoll im Quadrat gebildet, welche die als Magnetpole dienenden Eisenklötze zu Seiten hatte. Drei Oeffnungen führten zu dem Innern dieser Kammer und waren mit kleinen Hähnen versehen. Durch zwei derselben konnte irgend ein gehörig getrocknetes Gas in die Kammer geführt, oder mittelst eines anderen Gases wieder ausgetrieben werden; die dritte enthielt eine Visirröhre (2732) zum Wahrnehmen und Messen der etwa eintretenden Volumsänderungen. Die Ränder der centralen Kupferplatte und die Köpfe der eingelassenen Schrauben waren mit weifsen harten Firnifs bestrichen,

Digitized by Google

um die Kammer für alle Umstände, in die sie versetzt werden sollte, vollkommen luftdicht zu machen.

2732. Die Visirröhre bestand aus einem Haarröhrchen von 1,5 Zoll Länge, dessen Durchmesser in der Mitte der Länge weniger als halb so grofs wie an den Enden war. Dasselbe war mit einem Ende in einem Sockel befestigt, welcher an dem erwähnten (2731) dritten Hahn geschroben ward. Eine kleine Portion Weingeist, gefärbt durch Cochenille, wurde von einem Streifen Holz oder Glas in das äufsere Ende dieses Röhrchens gebracht, von wo es sogleich nach den mittleren oder engsten Theil vorrückte, um daselbst, wie es seyn mufs, ein einiges Säulchen zu bilden. Durch Schliefsen des Hahns ward diefs Säulchen leicht an seinem Ort gehalten, während man die Kammer mit Gas füllte und dessen Druck mit dem der Atmosphäre ausglich. Verschlofs man darauf die anderen Hähne und öffnete den Hahn der Visirröhre, so zeigte diese jede durch die Magnetkraft etwa veranlafste Volumsveränderung sogleich an. Um dieser jedoch den höchsten Grad von Empfindlichkeit zu geben, war es nothwendig den flüssigen Cylinder zuvörderst rechts und links laufen zu lassen, um das Röhrchen nach beiden Seiten hin anzufeuchten, was leicht durch Hin- und Herneigen der Kammer zu erreichen war. Diese und andere Vorsichtsmafsregeln in Bezug auf Lage, Temperatur u. s. w. können jedoch nur aus Erfahrung erlernt werden.

2733. Diese Büchse wurde nun zwischen den Polen des grofsen Elektromagnets, mit der Gaskammer in aequatorialer Lage, aufgestellt, und rechteckige Stücke von weichem Eisen, die auf den Magnetpolen ruheten, daran gelegt, so dafs eigentlich die inneren Seiten der Luftkammer die Pole bildeten, die also $\frac{1}{10}$ Zoll aus einander waren und 3 Zoll im Quadrat hielten. Das in der Kammer enthaltene Gas war also einer kräftigen magnetischen Action ausgesetzt und sehr kleine Volumsänderungen desselben konnten gemessen werden. Es ist jedoch vielleicht zu bemerken nöthig, dafs es einem Felde ausgesetzt war, worin die Magnetkraftlinien überall gleiche Kraft hatten (2463. 2465).

Digitized by Google

2734. Zunächst wurde *Luft* in die Kammer gebracht, und, nachdem Alles in gehöriger Ordnung war, der Ort der anzeigenden Flüssigkeit mit einem Mikroskop beobachtet. Nun wurde der Magnet aufs kräftigste in Thätigkeit versetzt; die Flüssigkeit bewegte sich ein wenig, wie wenn die Luft etwas ausgedehnt worden wäre; und nach Aufhebung der Magnetkraft kehrte die Flüssigkeit an ihren früheren Ort zurück. Derselbe Erfolg wiederholte sich mehrmals. Der Betrag dieser Veränderung war sehr gering, und man hatte Grund ihn von dem Druck abzuleiten, den der Magnet, wenn er thätig war, gegen die Seiten der Büchse ausübte; denn als später die Büchse in einen Schraubstock gespannt und gepreſst wurde, trat dieselbe Bewegung der Flüssigkeit ein, und als ferner die rechteckigen Eisenstücke (2733) durch einen Untersatz von Holz aus einander gehalten wurden, so daſs sie die Büchse nicht absolut berührten und drücken konnten, war der Effect fast auf Null reducirt.

2735. Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und Salpetergas wurden nun successiv in die Eisenbüchse gebracht, und mit demselben Erfolg. Zwischen Sauerstoff und den übrigen Gasen zeigte sich kein Unterschied, trotz ihrer groſsen Verschiedenheit in magnetischer und diamagnetischer Beziehung. Auch Wasserstoff- und Steinkohlengas wurden dem Versuch unterworfen, allein wenn diese Gase sich in der Büchse befanden, erfolgte ein langsames Zurückweichen der anzeigenden Flüssigkeit, herrührend, wie ich fand, von einer Absorption der Gase entweder durch den Firniſs oder den Kitt oder den Kork an der Visirröhre oder den Fugen der Büchsen. Die Empfindlichkeit der Visirröhre war hierdurch einleuchtend; allein wenn der Effect in Rechnung gezogen ward, ergab sich, daſs diese Gase ebenso wenig als die übrigen durch magnetischen Einfluſs in ihrem Volum geändert worden waren.

2736. Der Durchmesser der Visirröhre an der Stelle wo sich die Flüssigkeit befand, betrug etwas weniger als 0,01 Zoll. Der Betrag einer Bewegung gleich 0,01 Zoll war

Digitized by Google

war leicht ermittelt. Aus dem Vergleich dieser Zahlen mit der Räumlichkeit der Gaskammer ergab sich, dafs, wenn das Gas sich nur um 0,00001 ausgedehnt oder zusammengezogen hätte, das Resultat sichtbar gewesen seyn würde, ebenso wie jeder Unterschied von diesem Betrage zwischen Sauerstoff und Stickstoff oder den übrigen Gasen; aber *kein Effect oder Unterschied der Art kam zum Vorschein.*

2737. Da mir die Feststellung entweder des *Daseyns* oder der *Abwesenheit* einer Volumsänderung bei Gasen durch magnetischen Einfluſs von grofser und fast gleicher Wichtigkeit zu seyn schien, so veranlafste mich dieses zu erwägen, ob der Umstand, dafs in dem oben beschriebenen Versuch die Gase einem Magnetfelde von gleichmäfsiger Kraft ausgesetzt waren (2733), wohl das Aufkommen des gesuchten Effects verhindert haben möchte; denn ein solches Feld ist für das Auftreten der diamagnetischen Phänomene bei starren und flüssigen Körpern das ungünstigste und sie verschwinden fast gänzlich darin. Ich construirte daher einen anderen Apparat, bei dem dieser Umstand entfernt war, und bei welchem, wenn die Theilchen des diamagnetischen Gases durch eine unbekannte Disposition der thätigen Kräfte nur von stärkeren zu schwächeren Wirkungsorten zu gehen trachteten und somit unfähig wären sich in axialer Richtung auszudehnen, sie blofs den aequatorialen Effect zeigen würden.

2738. Aus einem Cylinder von weichem Eisen waren auf der Drehbank die mittleren Theile herausgenommen worden, so dafs er die Gestalt eines Stundenglases oder die der Fig. 10 Taf. I., welche ihn im Drittel seiner Gröfse darstellt, erhalten hatte. Ich erwartete, dafs er, statt der früheren Büchse zwischen den Magnetpolen aufgestellt, vermöge der Continuität des Eisens keine Verkürzung durch den Druck der Pole erleiden, und somit in seinem hohlen Theile die diamagnetischen Phänomene ungehindert auftreten lassen würde. Diefs letztere erwies sich richtig, denn Flamme, Rauch, Wismuth und andere diamagnetischen Sub-

Digitized by Google

stanzen, dahin gebracht, stellten sich ohne Weiteres aequatorial.

2739. Ein kupfernes Rohr von 2,5 Zoll Länge und 0,1 Zoll Wanddicke wurde dem Eisen angepafst, über dasselbe geschoben, wie es Fig. 10 zeigt, und mit weichem Kitt vollkommen luftdicht darauf befestigt. Es bildete auf diese Weise eine ringförmige Luftkammer rings um das Eisen, besafs, wie sich fand, eine Capacität von mehr als zwei Kubikzoll und schlofs den intensivsten Theil des Magnetfeldes ein. Es war mit drei Hähnen versehen, von denen zwei zum Ein- und Auslassen des Gases dienten, und der dritte den Druck-Anzeiger aufnahm. Unbekleidet konnte dieser Apparat nicht angewandt werden, weil seine Temperatur beständig schwankte; allein nach Umhüllung mit einer dreifachen Lage von Flanell, war seine Temperatur vollkommen constant, und als auch zum Drehen der Hähne hölzerne Schlüssel gebraucht wurden, erwies er sich untadelhaft.

2740. Ehe ich diesen Apparat zu verschiedenen Gasen anwandte, wollte ich wissen, was von dem Vergleiche eines Gases mit einem anderen zu erwarten sey; ich machte also zuvor folgenden Versuch, der auf den relativen specifischen Gewichten des Gases und des Wasserstoffgases beruht. Es ist leicht, in der Luft einer Flasche eine Spur von Ammoniak zu verbreiten, indem man ein Stückchen Papier, das mit einer starken Lösung desselben befeuchtet ist, hineinthut [1]), und eben so leicht ist es, einen Strahl Wasserstoffgas, der eine sehr kleine Menge salzsauren Gases enthält, durch eine horizontale Röhre in die ammoniakalisirte Luft einzuführen. Ist diefs geschehen, so macht sich die Bahn des leichten Wasserstoffes in der schweren Luft sehr deutlich wahrnehmbar; man sieht es, beim Zurückziehen der Horizontalröhre, sich auf einmal aufwärts wenden und rasch in die Höhe steigen, dabei wegen seines, im Vergleich zur Luft, geringen specifischen Gewichts in seinem Fortgang Fäden ziehen.

1) *Phil. Magazine* 1847, *Vol. XXXI. p.* 415. (Ann. Bd. 73 S. 276.)

Digitized by Google

2741. Zwei, auf den grofsen Magnet gelegte, in Halbkugeln auslaufende Pole wurden nun mit einander in Berührung gesetzt, um mit Luft oder Sauerstoff umgeben zu werden [1]), und in der Mitte des Magnetfeldes, genau unter der axialen Linie, wurde ein Wasserstoffstrom, zum Betrage von 6 Kubikzoll in der Minute, entwickelt. Ohne Anwendung der Magnetkraft stieg der Wasserstoff senkrecht in die Höhe, sich brechend an den Punkten, wo er die hemisphärischen Pole berührte; mit Anwendung der Magnetkraft aber theilte er sich in zwei Ströme, die rechts und links wanderten, und in einigem Abstande von dem Berührungspunkte in die Höhe stiegen. Diese Theilung geschah in einem gewissen Abstand unter der axialen Linie und hier war der Wasserstoff, ungeachtet seiner Steigkraft in der Luft oder dem Sauerstoff, durch die scheinbar abstofsende Magnetkraft genöthigt horizontal zu gehen; in ihrem ferneren Laufe kamen die beiden Theile des Gasstroms der axialen Linie nicht näher, sondern bildeten mit dieser eine fast oder ganz concentrische Curve, ähnlich einer Stimmgabel.

2742. Wenn Luft das Magnetfeld einnahm, geschah die Theilung des Wasserstoffstroms bei 0,30 oder 0,32 Zoll unter der axialen Linie; umgab aber Sauerstoff die Pole, so erfolgte sie bei 0,55 Zoll unterhalb derselben Linie; folglich war bei diesen Abständen die Kraft, welche den Wasserstoff horizontal, in Richtung des Radius, von der axialen Linie abwärts zu gehen zwang, gleich dem Unterschied im specifischen Gewichte des Wasserstoffs und respective der Luft und des Sauerstoffs. Bei geringerem Abstande würde die Kraft viel gröfser seyn, und in der That, als man den Wasserstoff bei diesen Versuchen näher an der axialen Linie ausströmen liefs, wurde er herunter und mit viel gröfserer Kraft fort geblasen. Mit Hülfe dieser Data und mit der Annahme, dafs die diamagnetischen Gase blofs in Folge der directen Einwirkung des Magnets, welche sie von stärkeren Wirkungsorten in schwächere treibt, aus der axialen

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 413. (Ann. Bd. 73 S. 274.)

Digitized by Google

Linie gewichen waren, fand ich, wie ich suchte, Grund zu glauben, dafs die diamagnetischeren Gase, als sie die Kupferbüchse füllten (2739) durch die Magnetkraft wahrscheinlich wenigstens um $\frac{1}{60000}$ ihres Volums ausgedehnt worden wären. Nun zeigte die Flüssigkeit der angewandten Visirröhren, wenn sie sich in ihnen um 0,01 Zoll bewegte, noch $\frac{1}{2500000}$ der Capacität der Büchse an (2736) folglich würde sie sich durch eine Ausdehnung wie die obige um 0,4 Zoll bewegt haben; eine mehr als hinreichende Gröfse, um das Resultat sichtbar zu machen, wenn die fundamentale Annahme richtig wäre.

2743. *Luft* wurde zunächst der Kraft des grofsen, durch zwanzig Grove'sche Plattenpaare angetriebenen Hufeisenmagnets in diesem Apparat (2739) ausgesetzt. Die Flüssigkeit bewegte sich, bei Erregung der Magnetkraft, sehr schwach auswärts, wie wenn eine kleine Ausdehnung erfolgt wäre; und bei Fortnahme der Kraft kehrte sie zurück. Dieser kleine Effect entsprang, wie sich späterhin fand, aus der Compression, veranlafst durch das Streben der Magnetpole sich einander zu nähern (2734).

2744. *Sauerstoff* zeigte genau dieselben Erscheinungen und in gleicher Gröfse, so dafs hier also kein magnetischer oder diamagnetischer Effect vorhanden war, sondern nur der einer Compression wie bei der Luft (2743).

2745. *Stickstoff* gab genau dieselben Resultate wie Sauerstoff und Luft. Nun ist Stickstoff wahrscheinlich diamagnetischer als Wasserstoff, und deshalb hätte er einen auffallenden Constrast mit dem Sauerstoff liefern müssen, wenn irgend ein positives Resultat zu erlangen wäre.

2746. *Kohlensäure* und *Salpetergas* lieferten ebenfalls negative Resultate und zwar als der Apparat, wie ich glaube, im untadelhaften Zustand war.

2747. In der *Pharmaceutical Society* befindet sich ein ausgezeichneter Elektromagnet von Hufeisenform, ähnlich eingerichtet wie der meinige (2247) aber weit kräftiger; dieser wurde mir, zur Wiederholung der vorstehenden Versuche in dem Hause der Gesellschaft, gütigst von Hrn.

Digitized by Google

Redwood zur Benutzung überlassen. Das Eisen, ein sehr weiches und von guter Beschaffenheit, bildet einen quadratischen Stab von 5 Zoll Dicke und die Mittellinie beträgt 50 Zoll. Es ist mit 1500 Fufs Kupferdraht von 0,175 Zoll Dicke bewickelt, die, als ich sie gebrauchte, eine zusammenhängende Länge bildeten. Die beweglichen Polarstücke sind massiv im Verhältnifs zu dem Magnet. Zur Erregung dieses Magnets wurden 80 Grove'sche Plattenpaare angewandt, und da sich durch vorläufige Versuche gefunden hatte, dafs sie zu zwanzig in vier Reihen mit den analogen Enden verknüpft am wirksamsten waren, so wurde diese Anordnung gebraucht, die also eine Batterie von 20 Plattenpaaren darstellte, worin der eingetauchte Theil jeder Platinplatte 4×9 Quadratzoll betrug und folglich dem Zink eine Fläche von 72 Quadratzoll darbot.

2748. Bei Wiederholung der früheren Versuche (2743) machte sich wiederum die Wirkung des Drucks bemerklich und selbst der Magnet, obwohl 5 Zoll dick, wurde durch die gegenseitige Anziehung seiner Pole etwas gekrümmt. Der Effect war sehr gering wegen des Zusammenhangs (*unity*) des durch die Mitte der Gaskammer gehenden Eisenkerns (2738). Es war der einzige von der Visirröhre angezeigte Effect und dieser war gleich für alle Gase; nach Abzug desselben blieb für eine Volumsänderung des Gases selbst nichts übrig.

2749. *Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure* und *Salpetergas* wurden nach einander der Wirkung dieses sehr kräftigen Magnets ausgesetzt, aber bei keinem dieser Gase erschien die geringste Spur einer Volumsänderung.

2750. Ich halte diese Versuche in jeder Hinsicht für hinreichend zu entscheiden, dafs diese Gase, sie mögen als magnetische oder diamagnetische Körper betrachtet werden oder Körper von beiden Klassen einschliefsen (denn der Sauerstoff steht zu den übrigen im auffallenden Constrast), durch die Magnetkraft nicht in ihrem Volum geändert werden, sey es in einem Felde von überall gleicher Kraft (2737) oder in einem von sehr ungleicher. Ich halte diese

Digitized by Google

Entscheidung für sehr wichtig in Bezug auf die wahre Natur der Magnetkraft, sie mag in den Körpertheilchen existiren oder auf dieselben wirken. Und so wie die Kraft sich in dem Magnetfelde nicht als eine centrale, sondern als eine axiale äufsert, so ist die fernere Unterscheidung der Erscheinungen in solche, welche der axialen Richtung angehören (2733), und in solche, welche der aequatorialen Richtung angehören oder sie einschliefsen, nicht unwichtig, denn sie zeigt, dafs die Theichen keine Neigung haben sich parallel oder winkelrecht zu den Linien der Magnetkraft von einander zu entfernen. Ohne die Versuche würde man es gewifs für sehr möglich gehalten haben, dafs eine dieser Ausdehnungsweisen und nicht die andere stattfände.

2751. Ohne Zweifel könnten dennoch Volumsänderungen in diesen Richtungen stattfinden, sobald dieselben nur nach einer Richtung in Expansion und nach der anderen in Contraction beständen, und beide von gleichem Betrage wären. Zum Theil wegen solcher möglichen Aenderungen (die als molecular zu betrachten wären) wurden die Versuche mit dem Lichtstrahl (2723. 2729) gemacht, und, sowohl bei diesen als bei anderen Versuchen, ein polarisirter Strahl angewandt. Allein die Resultate waren immer negativ, wenn alle Fehlerquellen entfernt wurden.

2752. Die Unterschiede in dem Grade von diamagnetischer Empfänglichkeit und Beschaffenheit, welche die zu den vorstehenden Versuchen angewandten Gase besitzen oder annehmen können, sind so grofs, um die Annahme zu rechtfertigen, dafs wenn sie unter der Wirkung des Magnets keine Tendenz zu einer Volumsänderung zeigen, auch sonst kein Gas oder Dampf eine solche zeigen werde, vielmehr alle zu dieser grofsen Klasse gehörigen Körper in dieser Beziehung gleich seyen. Im Zusammenhange mit diesem Schlufs kann ich noch angeben, dafs ich mich sowohl früher als noch kürzlich bemüht habe, durch einen sehr empfindlichen Apparat und durch kräftige Elektromagnete zu ermitteln, ob bei Flüssigkeiten wie Wasser,

Digitized by Google

Alkohol und Eisenvitriollösung eine Volumsänderung hervorgebracht werde, ich aber nichts der Art beobachten konnte und daher an deren Existenz nicht glaube. Noch später habe ich von der Klasse der soliden Körper Eisen, als einen magnetischen, und Wismuth, als einen diamagnetischen, dieser Untersuchung unterworfen, beide sowohl als solide Cylinder und als Feilicht oder Bruchstücke. Die Cylinder waren in Glasröhren gethan, und die Bruchstücke in Glasflaschen; letztere waren mit Visirröhren, wie die beschriebenen (2732), versehen, und der nicht von Metall eingenommene Theil derselben war bei der einen Reihe von Versuchen mit Luft und bei der anderen mit Alkohol gefüllt; aber in keinem Fall liefs sich die geringste Volumsänderung beim Eisen oder Wismuth beobachten, einer wie kräftigen Magnetkraft sie auch unterworfen werden mochten.

2753. Noch schien ein anderes Resultat einer Repulsionskraft möglich, selbst wenn, gemäfs der früheren Voraussetzung (2751), die Tendenz zur aequatorialen Ausdehnung durch eine gleich grofse Tendenz zur axialen Zusammenziehung compensirt werden sollte, nämlich, dafs bei Anwendung von spitzen Polen oder dem schon beschriebenen Stundenglas-Kern, Ströme erzeugt würden, die auswärts oder aequatorial, d. h. in Linien winkelrecht auf der Magnetaxe gingen, und andere, die zu dieser Linie einbögen längs den geneigten Flächen der Polar-Enden, einigermafsen denen ähnlich, welche so kräftig auftreten und so leicht zu verfolgen sind, wenn eine Flamme oder heifse Luft in Luft, oder der Strom eines Gases in einem andern Gase betrachtet wird [1]).

2754. Wenn indefs das das ganze Magnetfeld einnehmende Gas von gleichförmiger Natur und gleicher Temperatur ist, läfst sich nicht die leiseste Spur von solchen Strömen beobachten. Es ist nicht leicht, untadelhafte Prüf-

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 402, 404 und 409. (Ann. Bd. 73, S. 258.)

Digitized by Google

mittel für solche Bewegungen zu ersinnen, weil sichtbare Körper, die man in solch ein Magnetfeld brächte, um die Bewegungen der Luft nachzuweisen, selber diamagnetisch sind, und wenn sie ein vereinzeltes Wölkchen bilden, bewegt und fortgeführt werden, wie ein diamagnetischer Körper; allein auch wenn das ganze Feld ziemlich gleichförmig mit sehr leichten Staubtheilchen oder Lycopodium erfüllt ist, sind bei kräftiger Wirkung des Magnets keine Anzeigen von Strömen sichtbar. Als ich einen schwachen Strom des zertheilten kalten Rauchs einer ausgeblasenen Wachskerze [1]) ein wenig an einer Seite der axialen Linie herabsinken oder aufsteigen liefs, ging er auswärts und aequatorial; allein wie wohl er mit der meisten Kraft auswärts ging, wenn er von den beiden konischen Polen oder den entsprechenden Theilen des doppelten Eisenkerns (2738) gleichen Abstand hatte, so fuhr er doch fort auswärts und aequatorial zu gehen, wenn man ihn einer Seite nahe vorbeistreichen liefs, selbst im Fall er, wegen grofser Nähe der Eisenfläche, sich gleichsam über dieselbe zu bewegen hatte. Diefs zeigt dafs die Tendenz des Rauches, auswärts zu gehen, in *jedem Theil* des von der Luft oder dem Gase eingenommenen Magnetfeldes vorhanden war, und dafs also die Bewegung desselben aus der Wirkung des Magnets auf ihn, als diamagnetischen Körper, entsprang und nicht von Luftströmen herrührte, die, wenn sie existirt hätten, an einem Orte einwärts und an einem anderen auswärts gerichtet gewesen seyn würden.

2755. Wenn magnetische oder diamagnetische Flüssigkeiten, nach der sinnreichen Vorrichtung von Plücker, auf einem Glimmerblatt über den Polen, der Magnetkraft ausgesetzt werden, so nehmen sie schnell, entsprechend ihrer Natur, verschiedene Gestalten an, aber eine weitere Bewegung oder Strömung in ihnen findet nicht statt. Ohne Zweifel sind diese Fälle verschieden von denen, wo das gesammte Magnetfeld von einem und demselben Medium eingenommen ist; allein sie unterstützen doch den Schlufs, dafs keine

1) Ibid. p. 403. (Ann. Bd. 73 S. 260.)

Digitized by Google

Ströme gebildet werden. Wenn man dieselben Flüssigkeiten in Glaszellen zwischen die Pole bringt, lassen sich keine magnetischen Ströme wahrnehmen, wenn man auch um dergleichen Vorgänge sichtbar zu machen, zarte Theilchen eingestreut hat.

2756. So läfst sich also weder durch die Wirkung auf einen Lichtstrahl (2729. 2729), noch durch eine Ausdehnung oder Zusammenziehung (2750), noch durch Erzeugung von Strömen (2754), ein Beweis führen, dafs der Magnet eine directe Anziehung oder Abstofsung auf die Theilchen der untersuchten Gase ausübt oder dafs ihre, thatsächlich nachgewiesene, Bewegung im Magnetfelde von einer solchen unmittelbaren Anziehung oder Abstofsung herrührt.

II. Magnetische Differential-Wirkung.

2757. Was ist denn aber die Ursache der diamagnetischen Ortsveränderung? Der Effect ist offenbar differentialer Art, abhängig von den *Unterschieden* zweier Portionen oder Massen der das Magnetfeld einnehmenden Substanzen, wie Luft und die Ströme eines anderen Gases darin [1]), oder wie Quecksilber und die Luftröhre darin (2407), oder wie Wasser und das Wismuthstück darin (2301), und wiewohl sie sich nur in der Wirkung von Massen zeigen, so müssen doch letztere ihre Unterschiede den Qualitäten ihrer Theilchen verdanken. Indefs ist zu bemerken, dafs kein Versuch, vollkommen gemischte Theilchen von sehr verschiedenen Substanzen zu trennen, bisjetzt gelungen ist, obwohl dazu die kräftigsten Magnete angewandt wurden. Sauerstoff und Stickstoff weichen ungemein von einander ab, allein dennoch zeigt sich in einem sehr kräftigen Magnetfelde nicht die geringste Spur von Trennung beider [2]). Bei anderen Versuchen habe ich eine verdünnte Eisenvitriol-Lösung in eine Röhre eingeschlossen und dann deren unteres Ende, an einem Ort von vollkommen gleichförmiger

1) *Phil. Mag.* 1847 *p.* 409. (Ann. Bd. 73 S. 268.)
2) Ibid. p. 416. (Ann. Bd. 73 S. 279.)

Digitized by Google

Temperatur, auf vier Tage zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnets gebracht, aber ohne die geringste auf eine Trennung der Theilchen deutende Anzeige von einer Concentration der Lösung in diesem Ende.

2758. Die diamagnetischen Erscheinungen der Gase, betrachtet als das Differentialresultat der Wirkung von Volumen dieser Körper, lassen sich durch Anwendung von Seifenblasen auf sehr nützliche Weise folgendermafsen hervorbringen und untersuchen: Eine Glasröhre wurde mit Kappe, Hahn und Blase versehen, so dafs irgend ein in der Blase enthaltenes Gas durch dieselbe gesandt werden konnte; ein Stativ hielt sie in jeder erforderlichen Lage. Das Ende der Röhre war rechtwinklich herabgebogen, und vorn gerade abgeschnitten, wie Fig. 11 Taf. I. in etwas verkleinerter Gröfse zeigt.

2759. Es ist leicht, an dem Ende einer solchen Röhre Seifenblasen von jeder Gröfse bis zu 2 Zoll im Durchmesser zu blasen und durch Wirkung des Hahns die erforderliche Zeit über zu erhalten. Das Seifenwasser bereitet man, indem man einige Schnitzel Seife in etwas kaltes destillirtes Wasser legt; daraus lassen sich die dünnsten und gleichförmigsten Blasen bereiten, welche beweglicher sind als die aus dickeren Lösungen dargestellten, und bei einiger Sorgfalt halten sie sich lange genug für jeden Versuch. Das Ende der Röhre mufs vollkommen rein und von heterogenen Substanzen frei seyn (da diese für die Blasen schädlich sind); es mufs in- und auswendig mit der Seifenlösung benäfst und *vor dem Gebrauch eine Weile* darin gelassen werden.

2760. Bläfst man an dem herabgewandten Ende der Röhre eine Blase von einem halben Zoll im Durchmesser so wird sie meistens an ihrem Boden etwas überschüssiges Wasser enthalten, und so locker an der Röhre haften, dafs sie sich mit grofser Freiheit bewegt. Sie wird demgemäfs wie eine Pendel hin und her schwingen, und je nach dem sie mehr oder weniger Wasser am Boden enthält, diese

Digitized by Google

Schwingungen mehr oder weniger rasch vollziehen; sie wird als Ganzes, mehr oder weniger stark gravitiren und deshalb ihre senkrechte Lage mit mehr oder weniger Stabilität behaupten, alles Umstände, welche für die Anwendung der Blase, als eines magnetischen oder diamagnetischen Anzeigers, sehr nützlich sind.

2761. Die Bestimmung der relativen Wassermenge, welche sich in oder auf der Blase befindet, ist innerhalb gewisser Gränzen leicht gemacht. Wenn man, nachdem die Pfeife in das Seifenwasser getaucht worden, das Ende derselben mit einem ebenfalls in das Seifenwasser getaucht gewesenen Holzstück oder Glasstab berührt, so kann mehr oder weniger der Flüssigkeit fortgenommen werden; und wenn man beobachtet, wie hoch die Flüssigkeit vermöge capillarer Action in der Röhre steht, was zwischen $\frac{1}{70}$ und $\frac{1}{2}$ Zoll schwanken kann, so ist es leicht, nach einigen experimentellen Proben zu bestimmen, wie viel erforderlich ist, um eine Blase zu bilden, die mit einer gewissen Menge Wasser beladen ist, und wie wenig man nehmen mufs, um eine Blase ohne alles unten anhängende Wasser zu erhalten; und ebenso leicht ist es dann, durch vorheriges Anpassen der Wassermenge, eine Blase von jedem erforderlichen Charakter zu bilden. Selbst wenn kein Wassertropfen an der Blase hängen bleibt, kann man ihr noch eine verschiedene Wanddicke geben.

2762 So wie die Blasen mehr oder weniger Wasser enthalten, werden sie empfindlicher in ihrer Anzeige. Sie schwingen langsamer und werden durch eine seitwärts angebrachte Kraft leichter bewegt. Die diamagnetische Wirkung des sie bildenden Seifenwassers ist geringer; und deshalb die des darin enthaltenen Gases verhältnifsmäfsig gröfser. Ist die Blase sehr dünn, so wird die hängende Lage, eine Lage instabilen Gleichgewichts, denn jede Neigung der Röhre oder jede Seitenkraft, wie klein sie auch sey, macht, dafs die Blase sich zur Seite begiebt, an der Röhre in die Höhe steigt und daran haften bleibt (Fig. 12 Taf. I.). Die hängende Lage liefert in eingeschlossenen Räumen oder

Digitized by Google

Atmosphären einen äufserst empfindlichen Anzeiger; und selbst wenn die Blase seitwärts der Röhre anhaftet, bildet sie noch ein sehr schätzbares Instrument, denn sie dreht sich um die Röhre wie um eine Axe; und da sie einen gewissen Grad von Festigkeit besitzt, so kann sie in jeder Lage im Magnetfelde gehalten werden, und durch ihre Bewegung zu oder ab der axialen Linie zeigt sie den Magnetismus oder Diamagnetismus des in ihr enthaltenen Gases in Bezug auf die umgebende Luft sehr gut an.

2763. Wird die Mündung der Röhre aufwärts gekehrt, so lassen sich Blasen von der dünnsten Wanddicke bilden, allein sie sind von sehr instabiler Lage und begeben sich an die Seite der Röhre; sie können als Anzeiger gebraucht werden, wie zuvor (2762). Wird die Mündung erweitert, so kann man es dahin bringen, dafs die Blasen, wenn sie dünn sind, an dem Rohrende stehen bleiben, allein da sie an gröfseren Flächen haften, so erfordern sie zur seitlichen Bewegung mehr Kraft, und verlieren ihre Empfindlichkeit als Anzeiger.

2764. Bei Anwendung solcher Blasen zu einer und derselben Reihe vergleichender Versuche ist es zweckmäfsig sie von nahe gleicher Gröfse und Wanddicke zu verfertigen. Gewöhnlich mache ich sie von einem halben Zoll im Durchmesser. Als ich eine solche Blase mit *Luft* in der hängenden Lage blies, sie in den Winkel des Doppelpols, im Niveau mit der axialen Linie (Fig. 13 Taf. I.) brachte, ward sie, bei Erregung der Magnetkraft durch 20 Grove'sche Plattenpaare, mit einer gewissen Kraft von der axialen Linie auswärts oder aequatorial abgelenkt, und bei Unterbrechung des elektrischen Stroms kehrte sie in ihre frühere Lage zurück. Die Ablenkung war nicht grofs und rührte von dem Wasser der Blase her, somit eine Anzeige von dem Betrage dieses Effects gebend, der als Berichtigung bei den Versuchen mit andern Gasen diente.

2765. *Stickstoff in Luft.* Eine Blase voll Sticktoff ging in gemeiner Luft auswärts oder aequatorial mit viel gröfserer Kraft als eine Blase voll Luft (2764) in sehr auffal-

Digitized by Google

lender und belehrender Weise. Sie wurde von dem Ende der Röhre zur Seite derselben hinaufgetrieben; und als sie an der Seite der Röhre einwärts liegend der Magnetkraft ausgesetzt ward, ging sie nach der Aufsenseite der Röhre und behielt beim Drehen der Röhre diese Lage, so lange die Kraft unterhalten ward. Dieser Effect ist um so auffallender, wenn man erwägt, dafs die Luft selbst zu vier Fünfteln aus Stickgas besteht.

2766. *Sauerstoff in Luft.* Der Effect war sehr ausgezeichnet, in dem die Blase heftig und plötzlich einwärts oder gegen die axiale Linie getrieben ward, genau wie wenn der Sauerstoff höchst magnetisch wäre. Das Resultat entsprach der Erwartung, indem es übereinstimmte mit den Erscheinungen, die Sauerstoff und Stickstoff bei einer früheren Untersuchung des Magnetismus der Gase dargeboten hatten [1]).

2767. *Salpetergas und ölbildendes Gas in Luft.* Die Blasen gingen auswärts oder diamagnetisch, mit viel gröfserer Kraft als von der Wirkung des Wassers der Blase herrühren konnte, was die Beziehung dieser Gase zur Luft beweist und die früher mit Strömen derselben erhaltenen Resultate bestätigt [2]).

2768. Es hält nicht schwer, diese Beobachtungsmethode auf Versuche mit Gasen in Atmosphären von anderen Gasen als Luft anzuwenden, sobald nur diese der Art sind, dafs sie die Blase nicht zerstören; allein ich will die Zeit mit der Auseinandersetzung der Resultate solcher Versuche nicht vergeuden, da sie vollkommen mit den früher erhaltenen übereinstimmen [3]). Die gegebene Beschreibung ist vollkommen hinreichend zur Erläuterung des aufgestellten Satzes, dafs die Bewegung der Gase in einander, im Magnetfelde, ein Differentialresultat ist.

2769. Derselbe Schlufs, dafs der Effect ein Differentialresultat der dem Magnetfelde ausgesetzten Massen von

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 410, 415. (Ann. Bd. 73 S. 277.)
2) Ibid. p. 411. (Ann. Bd. 73 S. 271.)
3) Ibid. p. 414 u. 415. (Ann. Bd. 73 S. 277.)

Digitized by Google

Materie ist, ergiebt sich auch aus der in einem früheren Theil dieser Untersuchungen (2405 — 14) ausgesprochenen Betrachtungen der Fälle von gasigen, flüssigen und starren diamagnetischen Körpern, und ein Schlufs gleicher Art kann in Bezug auf magnetische Körper aus den dort (2361 — 68) beschriebenen Versuchen gezogen werden.

III. Magnetischer Charakter des Sauerstoffs, des Stickstoffs und des Raums.

2770. Die Differentialwirkung zweier Portionen von Gasen oder anderen Substanzen läfst sich auf eine weit interessantere und wichtigere Weise als die eben beschriebene genauer untersuchen. Sie kann selbst zur Basis eines Instruments gemacht werden, durch welches sich wahrscheinlich höchst wichtige Angaben und Messungen über magnetische und diamagnetische Wirkungen erhalten lassen, die zu bisjetzt noch ungeahneten Resultaten führen können.

2771. Wenn man zwei Portionen von gasigen oder flüssigen Substanzen zusammen verknüpft auf symmetrische Weise zu beiden Seiten der Magnetaxe in das Magnetfeld versetzt, so werden sie gleichzeitig afficirt. Sind beide diamagnetisch oder weniger magnetisch als das das Magnetfeld einnehmende Medium, so suchen sie auswärts oder aequatorial zu gehen, gleich stark, wenn sie es gleich sind, ungleich stark, wenn sie es verschieden sind. Die Folge davon ist, dafs wenn sie zunächst in gleichen Abstand von der Magnetaxe gebracht worden sind, der Hinzutritt der Magnetkraft ihre Lage nicht ändert, sobald sie gleich sind, diese Lage aber geändert wird, sobald sie ungleich sind. Denn die am meisten diamagnetische wird sich auswärts aequatorial bewegen, bis beide in zwei neue Lagen gekommen sind, in welchen die wirkenden Kräfte einander aufheben und ein stabiles Gleichgewicht herbeiführen. Dann kann man die Strecke, durch welche sie sich bewegten, indirect gebrauchen, oder, besser noch, die zur Zurückführung in ihre aequistante Lage erforderliche Kraft direct

Digitized by Google

anwenden, um die Tendenz abzuschätzen, mit welcher jede aus der Magnetaxe zu gehen suchte, d. h. um ihre relativen diamagnetischen Intensitäten zu bestimmen.

2772. Um Gase einer solchen Untersuchungsweise zu unterwerfen, nahm ich eine sehr dünne und regelmäfsige Flintglasröhre von etwa $\frac{5}{16}$ Zoll äufserem Durchmesser und nicht mehr als $\frac{1}{60}$ Zoll Wanddicke, und zog zwei gleiche Stücke derselben zu der in Fig. 14 Taf. I. abgebildeten Gestalt aus, deren cylindrischer Theil $1\frac{1}{2}$ Zoll lang war; den einen füllte ich mit Sauerstoffgas, den anderen mit Stickgas, und verschlofs dann beide hermetisch. Das Ende des verlängerten Theils von jedem berührte ich, während es noch warm war, mit Siegellak, und befestigte einen Draht daran, und knüpfte diesen in eine Schlinge, ebenfalls dargestellt in voller Gröfse. Durch diese wurden die Röhren senkrecht an eine Torsionswaage aufgehängt, so dafs die Mitte beider sich im Niveau mit der Magnetaxe befand.

2773. Die Torsionswaage bestand aus einem Bündel von 60 gleichmäfsig gestreckten Coconfasern, befestigt oben an einer verticalen Axe, die über einer graduirten Platte einen horizontalen Zeiger führte, und unten einen horizontalen Hebel. An dem einen Ende dieses Hebels safs ein horizontaler Querstab von $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge und an den Enden dieses Querstabes, $8\frac{1}{2}$ Zoll vom Mittelpunkt der Bewegung, hingen die beiden Röhren voll Sauerstoff und Stickstoff (2772), aufgewogen durch ein Gegengewicht am anderen Arm des horizontalen Hebels. Das Ganze war in Bezug auf den Elektromagnet, der zur Zeit mit dem Doppelkegelförmigen Anker (2764) versehen war, so aufgestellt, dafs die Mitte jeder Röhre sich im Niveau mit der Mitte des Ankers befand, in gleichem Abstande von jeder Seite desselben. Wenn man unter diesen Umständen den Hebel in Schwingungen versetzte, so geschahen diese, vermöge des Gewichts der ganzen Vorrichtung und der geringen Torsionskraft der Coconfasern, mit grofser Langsamkeit.

2774. So wie die Magnetkraft in Wirksamkeit gesetzt ward, änderte sich Alles. Die Sauerstoff-Röhre wurde

Digitized by Google

sogleich einwärts, gegen die Axe, getrieben, und die Stickstoffröhre auswärts, nach entgegengesetzter Seite. Die Waage schwang über ihren neuen Ruhepunkt hinaus und kehrte mit bedeutender Kraft zurück, solchergestalt viele Schwingungen in derselben Zeit machend, die zuvor von einer einzigen ausgefüllt ward. Nachdem sie zur Ruhe gekommen war, stand die Sauerstoffröhre etwa $\frac{1}{8}$ Zoll vom Eisenkern, die Stickstoffröhre dagegen $\frac{4}{8}$ Zoll. Zehn Umdrehungen der Torsionsaxe änderten diese Abstände nur in schwachem Grade.

2775. Die Wirkungen, welche die gegenseitige Selbst-Ajustirung des Sauerstoffs und Stickstoffs, was ihren Ort in Bezug auf die Magnetaxe betrifft, bedingen, sind sehr einfach und einleuchtend. Zunächst ist das *Gas* der Röhren diamagnetischer als das umgebende Medium, die Luft (2424), und deshalb strebt es auswärts zu gehen; allein da beide Gläser von gleicher Beschaffenheit sind, so streben sie, bei gleichen Abständen, sich mit gleicher Kraft zu bewegen, und compensiren also einander bei diesen Abständen. Wenn eins derselben einwärts getrieben wird, so gelangt es unter eine gröfsere Kraft, indem es in einen intensiveren Theil des Magnetfeldes kommt; und das andere, welches zu derselben Zeit auswärts geführt wird, kommt aus demselben Grunde an einen Ort von geringerer Wirkung. Sobald also der Zwang entfernt wird, kehrt das System in seine stabile Gleichgewichtslage zurück, in welcher beide Körper gleichen Abstand von der Magnetaxe haben.

2776. Auch die *Inhalte* der Röhren sind den Magnetkräften unterworfen und wie die Resultate zeigen (2774) in sehr verschiedenem Grade. Entweder strebt der Sauerstoff kräftiger als der Stickstoff nach Innen, oder der Stickstoff kräftiger als der Sauerstoff nach Aufsen; und der Unterschied mufs sehr grofs seyn, denn die Sauerstoffröhre wird der Axe so nahe geführt, dafs sie daselbst ohne bedeutenden Zwang nicht einen Augenblick verweilen kann. Die Kraft, mit welcher sich die Röhren in der aequi-

Digitized by Google

aequidistanten Lage erhalten würden, combinirt mit der Gröfse der Verschiebung aus dieser Lage, zeigt die Gröfse der Verschiebung der Kraft, welche die vereinte Wirkung des Sauerstoffs und Stickstoffs in einer Richtung, nämlich einwärts, entwickelt, denn wiewohl die Wirkung complicirt ist, ist doch das Resultat einfach. Aus früheren Versuchen ist bekannt, dafs in Luft der Stickstoff aequatorial und der Sauerstoff axial geht [1]); die Stickstoffröhre wird also vermöge einer gewissen Differentialkraft, die vom Flintglase und Stickstoff einerseits, und von dem durch sie verdrängten Luftvolum andererseits abhängt, aequatorial gehen und in gleicher Weise geht die Sauerstoffröhre axial durch eine Differentialkraft, deren Gröfse abhängt von der axialen Tendenz des Sauerstoffs, von der aequatorialen der Röhre und von der vereinten Relation beider zu der durch sie verdrängten Luft. Allein beide Röhren und ihre Inhalte sind durch ihre vereinte Relation zu der Luft und durch ihren mechanischen Zusammenhang so mit einander verknüpft, dafs, wenn eine Kraft (wie die der Torsion) angewandt wird, um ihre aequidistante Lage zu der Magnetaxe wieder herzustellen, jede Betrachtung der Substanz der Röhren und der Luft, als des umgebenden Mittels, überflüssig wird. Die Gase lassen sich als in unmittelbarer Relation zu einander und zu der Magnetaxe, befreit von allen übrigen Einwirkungen, betrachten; und die Kraft, welche erfordert wird, um sie in die *aequidistante* Lage zu bringen, ist das Maafs ihrer magnetischen oder diamagnetischen Differenzen.

2777. Nachdem ich so die allgemeinen Grundsätze der Wirkung erklärt habe, will ich, als Anwendung derselben, zur Construction eines Mefsinstruments und zu den damit erhaltenen Resultaten übergehen, weiter als es zur allgemeinen Erläuterung der magnetischen und diamagnetischen Körper und der Bestimmung des wahren Nullpunktes (2721, 2722) erforderlich ist.

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 409. (Ann. Bd. LXXIII. S. 268.)

Digitized by Google

2778. Die eben beschriebenen Principien befähigen mich zu einer Untersuchungsmethode zurückzukehren, welche früher mir grofse Hoffnungen erregte (2433), aber plötzlich, durch Mangel an Mitteln zu ihrer Ausführung, abgeschnitten zu seyn schien. Verschiedene Substanzen, magnetische oder diamagnetische, gestatten zweierlei Beobachtungsweisen, die für die Kenntnifs ihrer Eigenschaften und ihrer Bestimmung im Haushalt der Natur ungemein belehrend zu seyn versprechen. Ein Gas kann *erwärmt* oder *erkältet* werden und der Temperatur-Effect, welcher bekanntlich sehr wirksam ist [1]), läfst sich nun ohne Volumsveränderung des Gases untersuchen; ebenso kann es in sehr ausgedehntem Grade *verdünnt* oder *verdichtet* werden, und der Effect dieser Veränderung läfst sich unabhängig vom Temperaturwechel oder der Gegenwart irgend einer anderen Substanz ermitteln. Starre und flüssige Körper lassen diese Untersuchungsmethoden nicht zu, und unterstützen also nicht in gleicher Weise wie die Gase die Bestimmung des Nullpunkts und der wahren Unterscheidung vom magnetischen und diamagnetischen Körper.

2779. Es schien mir, dafs wenn ein Gas magnetisch wäre, sein Magnetismus abnehmen müfste im Verhältnifs zu der Verdünnung, d. h., dafs gleiche Volume eines solchen Gases unter verschiedenem Druck um so magnetischer seyn müfsten, als sie dichter wären; dafs andererseits, wenn ein Gas diamagnetisch wäre, eine Verdünnung den Diamagnetismus desselben schwächen, ja bei Fortsetzung bis zum Vacuum, ganz vernichten müfste. Mit anderen Worten, wenn zwei gegenüberliegende Portionen eines und desselben magnetischen Gases, eine lockerer als die andere, zugleich der Magnetkraft ausgesetzt würden, müfste die *dichtere* der axialen Linie genähert oder in den Ort der intensiveren Wirkung gezogen werden; wogegen von zwei ähnlich gegenübergestellten Portionen eines diamagnetischen Gases, bei Unterwerfung der magnetischen Action, die aus-

1) *Philosoph. Magazine* 1847, *T. XXXI. p.* 409. (Ann. Bd. LXXIII, S. 268.

Digitized by Google

gedehntere oder *lockerere* einwärts oder zum Orte stärkerer Wirkung gehen müfste.

2780. Mehre Röhrchen, von ähnlicher Einrichtung wie die schon (2772) beschriebenen und sehr nahe von gleicher Gröfse (Fig. 15 Taf. I.), wurden mit Sauerstoff gefüllt und hermetisch verschlossen, nachdem die Gasmenge darin mittelst der Luftpumpe auf ein Gewisses zurückgeführt worden war. Das erste enthielt Gas von dem Drucke einer Atmosphäre, das zweite von einer halben Atmosphäre oder 15 Zoll Quecksilber, das dritte von 10 Zoll Quecksilber und das vierte enthielt es so verdünnt, wie es durch eine vortreffliche Luftpumpe herzustellen war. Der Vergleich der ersten mit den drei übrigen lieferte ein sehr auffallendes Resultat. Dem Gase von halber Atmosphäre gegenübergestellt, ging es zu der Axe und trieb das ausgedehntere fort; verknüpft mit dem Gas von einer Drittel-Atmosphäre ging es noch kräftiger einwärts oder axial; und mit dem Sauerstoffvacuum verknüpft, stellte es sich dem Eisenkern so nahe, wie früher als es mit Stickstoff verknüpft ward (2774); offenbar war es nur der Diamagnetismus der den Sauerstoff einschliefsenden Glasröhre (2775) was diesen verhinderte gegen den die Mitte des Magnetfeldes einnehmenden Eisenkern zu pressen.

2781. Beim Experimentiren mit den übrigen Röhren wurden genau dieselben Resultate erhalten. So ging die Röhre mit Gas von einer Drittel-Atmospähre, verknüpft mit der Vacuum-Röhre, einwärts oder trieb die letzteren auswärts, d. h war magnetischer als sie; allein verknüpft mit dem Gase von halber Atmosphäre, ging sie auswärts, das dichtere Gas also einwärts. Jede Röhre, verknüpft mit einer anderen voll lockereren Gases, ging einwärts oder magnetisch, dagegen bei Verknüpfung mit einer anderen voll dichteren Gases, auswärts. So weit ich bei diesen vorläufigen Versuchen ermitteln konnte, schien die Tendenz zum Einwärts- oder Axialgehen proportional der Dichtigkeit des Gases zu seyn; indefs soll die genaue Messung dieser Kräfte hernach gegeben werden.

Digitized by Google

2782. Somit scheint also der Sauerstoff eine sehr magnetische Substanz zu seyn, denn er geht mit bedeutender Kraft axial oder von schwächeren zu stärkeren Orten der Kraft, ein Schluſs, der mit dem Resultate früherer Beobachtungen übereinstimmt [1]). Ueberdieſs geht er kräftiger einwärts, wenn er dichter als wenn er locker ist, und diese Tendenz scheint proportional seiner Dichte zu seyn. So wie also der Sauerstoff entfernt wird, verschwindet auch die Magnetkraft mit ihm, bis bei Erreichung eines Vacuums, wenig oder nichts von der Anziehung oder Einwärts-Kraft übrig bleibt. Ohne Zweifel könnte man sagen, der dichte Sauerstoff sey weniger diamagnetisch als der lockere oder als ein Vacuum. Allein damit würde man auch sagen, die Kraft einer Substanz, wie Sauerstoff, nehme zu im Verhältniſs als die Menge der Substanz abnimmt, und das scheint mir nicht philosophisch zu seyn. Ueberdieſs giebt es, wie man bald sehen wird, noch andere Gründe, welche zeigen, daſs der bei Fortschaffung des Sauerstoffs verschwindende Magnetismus dem Sauerstoff angehört, dieser also eine wahrhaft magnetische Substanz ist.

2783. Nun wurde *Stickstoff*, als der andere und gröſsere Theil der Atmosphäre, dem Versuch unterworfen, und zur Füllung von drei Röhren verwandt; die eine enthielt das Gas von 30 Zoll Quecksilberdruck, die zweite von 15 Zoll, und die dritte höchst möglich verdünnt (2780). Als diese im Magnetfelde mit einander verglichen wurden, erwiesen sie sich so nahe gleich, daſs sie nicht von einander zu unterscheiden waren d. h. sie behielten gleichen Abstand von der Magnetaxe. Ich will damit nicht sagen, daſs Stickstoff unter verschiedenem Druck sich bei gleichem Volume absolut gleich verhalte (ein jetzt in Arbeit befindliches Instrument wird mich späterhin in Stand setzen, diese Punkte mit unendlich gröſserer Genauigkeit zu vergleichen und zu messen); allein, verglichen mit dem Sauerstoff, haben die

1) *Phil. Magazine* 1847 *Vol. XXXI. p.* 410, 415. (Ann. Bd. LXXIII. S. 268 und 277.)

Digitized by Google

grofsen und ungewöhnlichen Unterschiede, welche dort die Verdünnung hervorbringt, hier keine entsprechenden. Wenn es überhaupt welche giebt, sind sie für jetzt unmerklich, und können für den Hauptzweck dieses Aufsatzes und für die Bestimmung des Nullpunktes zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern gänzlich vernachläfsigt werden.

2784. Der Stickstoff scheint also weder magnetisch noch diamagnetisch zu seyn; wäre er eins von beiden, so könnte die Verdünnung nicht so einflufslos auf ihn seyn; er verhält sich wie ein Vacuum. Betrachtet man einen gegebenen Raum als ein Vacuum, in welches allmälig Sauerstoff oder Stickstoff eingeführt wird; so wird der Raum, so wie Sauerstoff hinzugefügt wird, immer magnetischer d. h. immer geeigneter, die durch dieses Wort bezeichnete Art von Wirkung zuzulassen; allein eine entsprechende Hinzufügung von Stickstoff zum leeren Raum bewirkt weder diese noch die entgegengesetzte Art von Wirkung; mithin ist der Stickstoff weder magnetisch, noch diamagnetisch, sondern dem Raume selber gleich.

2785. Bisjetzt habe ich auf der diamagnetischen Seite des Nullpunktes kein Gas gefunden, welches in der grofsen Wirkung der Verdünnung irgend wie mit dem Sauerstoff zu vergleichen wäre. Für jetzt kann ich nur ölbildendes Gas und Cyan als Substanzen nennen, die einwärts oder zu der axialen Linie gehen, so wie sie mehr verdünnt werden. Sie liegen also nicht auf dem Nullpunkt, sondern auf entgegengesetzter Seite wie der Sauerstoff, sind diamagnetische Körper. Fehlte uns aber eine Substanz, die stark und unläugbar diamagnetisch wäre, und die, dem Raum hinzugefügt, denselben diamagnetisch machte, wie der Sauerstoff ihn magnetisch macht, so hätten wir eine solche am Flintglase oder am Phosphor. Wenn diese Substanzen, bei ähnlicher Gröfse und Gestalt, mit Stickstoff oder einem Vacuum, an der Torsionswaage, verglichen werden, gehen sie mit vieler Kraft auswärts; und wahrscheinlich ist es nur der grofse Diamagnetismus des Gases der Röh-

Digitized by Google

ren, welche beim ölbildenden und anderen Gasen verhindert, dafs der Effect der Verdünnung sichtbarer wird.

2786. Wenn eine Röhre mit irgend einem Gase gefüllt, dann so stark wie möglich ausgepumpt und nun hermetisch verschlossen wird, so kann man annehmen, sie enthalte das, was man für gewöhnlich ein Vacuum nennt. Ich habe viele solcher Vacua hergestellt, und es sey mir erlaubt, sie nach den Gasen zu nennen, von denen noch Spuren darin geblieben sind. Beim Vergleiche solcher Vacua im Magnetfelde (2773), schienen sie mir in jeder Beziehung gleich zu seyn; das Sauerstoff-Vacuum war nicht magnetischer als das des Wasserstoffs, Stickstoffs oder ölbildenden Gases. Ihre Unterschiede waren jedenfalls weit kleiner als die Unterschiede, welche durch eine Verschiedenheit in der Gestalt und Beschaffenheit des Glases veranlafst seyn konnten; und sie lassen sich nur durch die späterhin angewandten Mittel auffinden (2783); ich bin vollkommen überzeugt, dafs sie zuletzt nahe gleich gefunden werden, und sich einem vollkommenen Vacuum dicht anreihen.

2787. Vor der Bestimmung des Nullpunktes zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern, haben wir den wahren Charakter und die Relation des von jeder materiellen Substanz freien *Raums* zu betrachten. Obwohl man einen von Materie vollkommen freien Raum nicht darstellen kann, so kann man sich ihm doch durch ein sorgfältig dargestelltes Torricelli'sches Vacuum sehr nähern. Vielleicht ist es kaum nöthig anzugeben, dafs ich sowohl Eisen als Wismuth in einem solchen Vacuum dem Magnet vollkommen gehorchen sah. Aus solchen Versuchen und auch aus allgemeinen Betrachtungen und Erfahrungen ist klar, dafs die Magnetkraftlinien (2148) den reinen Raum durchdringen, wie es die Schwerkraft und die Kraft der statischen Elektricitäten thut (2616), und deshalb hat der Raum eine magnetische Relation aus sich selbst, eine, welche wir künftig wahrscheinlich als von der äufsersten Wichtigkeit für Natur-Erscheinungen finden werden. Allein dieser Cha-

Digitized by Google

rakter des Raums ist nicht von gleicher Art wie der, welchen wir, in Bezug auf Materie, uns bemühen durch die Worte magnetisch oder diamagnetisch auszudrücken. Sie zusammenwerfen, hiefse Raum und Materie verwechseln und alle Begriffe verwirren, durch welche wir uns bemühen eine fortwährend klarere Einsicht in die Wirkungsweise und die Gesetze der Naturkräfte zu erlangen. Es wäre, wie wenn man bei der Gravitation oder den elektrischen Kräften (1613) die auf einander wirkenden Theilchen verwechseln wollte mit dem Raum, durch welchen hin sie wirken; und das würde glaube ich die Thür zum Fortschritt verschliefsen. Blofser Raum kann nicht wirken wie die Materie, selbst wenn man gestattet bis zur Hypothese eines Aethers zu gehen; und bei Annahme dieser Hypothese wäre es eine neue Willkührlichkeit, vorauszusetzen, dafs die Magnetkraftlinien Vibrationen eines solchen Aethers seyen (2591), da wir bisjetzt keine Beweise haben, dafs Zeit zu ihrer Fortpflanzung erfordert werde, oder darüber, wie sie im allgemeinen Charakter mit den respectiven Linien der Gravitation, des Lichtes und der elektrischen Kräfte übereinkommen oder von ihnen abweichen.

2788. Ebenso wenig kann man annehmen, der Raum enthalte um seine Punkte solche Circularströme, wie nach der Ampère'schen Hypothese um die Theilchen der gewöhnlichen Materie existiren, und wie ich selbst einmal als in entgegengesetzter Richtung um die Theilchen der diamagnetischen Substanzen vorhanden angenommen hatte (2429, 2640). Die Einbildungskraft, gezügelt durch philosophische Betrachtungen, findet im reinen Raume Nichts, um welches die Ströme circuliren oder mit welchem sie irgend wie verknüpft seyn könnten; und die Schwierigkeit, wenn sie nicht schon unermefslich ist, würde noch gröfser für Die, welche etwa die magnetischen und diamagnetischen Körper als von gleicher Natur betrachten und deshalb in beiden gleiche Ströme annehmen müssen; denn es scheint nicht möglich zu seyn, z. B. Phosphor von solcher magnetischen Con-

Digitized by Google

stitution dem als ähnlich constituirt vorausgesetzten Raum hinzufügen und doch als Resultat eine Verringerung der magnetischen Kräfte des Raums zu erhalten.

2789. Da also der Raum für sich unabhängig von Materie und in anderer Weise besteht, so müssen die verschiedenen Varietäten der Materie, hinsichtlich der respectiven Quantitäten, unter einander betrachtet werden. Diejenigen, welche, dem Raume hinzugefügt, keine Wirkung hervorbringen, scheinen mir neutral zu seyn, oder auf dem Nullpunkt zu stehen. Diejenigen, welche einen Effect von einer Art liefern, stehen auf der einen Seite dieses Nullpunkts, und die, welche den entgegengesetzten Effect erzeugen, auf der anderen Seite desselben, somit zwei Klassen von Körpern bildend, magnetische und diamagnetische. Das Gesetz, welches ich früher aufzustellen wagte (2267. 2118) drückt noch genau ihre Beziehungen aus; denn im absoluten Vacuum oder freien Raum sucht ein magnetischer Körper von schwächeren zu stärkeren Wirkungsorten zu gehen, und ein diamagnetischer Körper unter gleichen Umständen von stärkeren zu schwächeren.

2790. Nun, da der *wahre Nullpunkt* gefunden ist und er die grofse Mannigfaltigkeit materieller Substanzen in zwei allgemeine Klassen theilt, scheint mir, bedarf es, um Verwirrung zu vermeiden, eines andern Namens für die magnetische Klasse. Das Wort *magnetisch* mufs allgemein genommen und alle vom Magnetismus hervorgebrachten Phänomene und Effecte umschliefsen. Dann aber ist für die der diamagnetischen Klasse entgegenstehende Abtheilung ein Wort nothwendig. Da die Sprache dieses Zweiges der Wissenschaft wohl bald eine allgemeine und sorgfältige Abänderung verlangt, so habe ich, mit Hülfe eines Freundes geglaubt, dafs auch ein nicht mit Sorgfalt gewähltes Wort schon vorläufig von Nutzen seyn könnte; da der Magnetismus des Eisens, Nickels und Kobalts, wenn sie im Magnetfelde sind, dem der Erde als Ganzes gleich ist, und sie, wirksam gemacht, sich deren Axe oder Magnetkraftlinien parallel stellen, so habe ich gemeint, dafs sie und ähnliche

Digitized by Google

Körper (jetzt auch der Sauerstoff) paramagnetische genannt werden könnten, so dafs also die

magnetischen zerfallen in { paramagnetische / diamagnetische.

Sollte dieser Versuch zur Erleichterung des Ausdrucks nicht beifällig aufgenommen werden, wird er hoffentlich Entschuldigung finden.

2791. Vermöge der Gegenwart des Sauerstoffs in der Luft, ist diese als Ganzes ein magnetisches Medium von nicht geringer Kraft. Alle vergleichenden Versuche über den Diamagnetismus anderer Gase, die man in Strömen durch die Luft oder durch einander gehen läfst [1]), erfordern also eine Berichtigung, welche bisweilen einen solchen Körper auf die paramagnetische Seite des Nullpunkts bringen kann. Ich hoffe jedoch bald im Stande zu seyn, nicht allein den Ort von Körpern, sondern auch die relativen Grade iher Kraft, bei gleicher und bei verschiedener Temperatur, mit einer Genauigkeit bestimmen zu können, die sehr zur ferneren Entwicklung dieses Zweiges der Wissenschaft dienen wird.

2792. Unter den bisher untersuchten Gasen, ist keins, welches mit dem *Sauerstoff* verglichen werden könnte. Neben demselben sind die folgenden vergleichungsweise indifferent: *Chlor, Bromdampf, Cyan, Stickgas, Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd, ölbildendes Gas, Stickstoff-Oxydul* und *-Oxyd, salpetrigsaurer Dampf, Salzsäure, schweflige Säure, Jodwasserstoffsäure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Steinkohlengas, Aetherdampf* und *Schwefelkohlenstoffdampf;* denn obwohl einige, wie *ölbildendes* und *Cyan-Gas,* etwas diamagnetisch zu seyn scheinen, und andere wie *Stickstoffoxydul* und *Stickstoffoxyd* magnetisch sind, so verschwinden doch ihre Wirkungen im Vergleich zu der des Sauerstoffs.

2793. Ich hoffe später den richtigen Ausdruck für die

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 407, 420 etc. (Ann. Bd. LXXIII. S. 265 und 283.)

Digitized by Google

paramagnetische Kraft des Sauerstoffs (2783) zu geben, mittlerweile will ich versuchen hier, zu den früheren, noch ein Paar rohe Schätzungen ihrer Stärke zu liefern. Die Räumlichkeit der mit Sauerstoff von einem Atmosphären-Druck gefüllten Röhre beträgt nicht ganz 0,34 Kubikzoll; der Sauerstoff darin wiegt also 0,117 Gran. Ich bemühte mich diese Menge zunächst mit weichem Eisen zu vergleichen, und hing daher ein Zehntel dieses Gewichts oder 0,012 Gran Eisen vermöge eines zarten Platindrahts mitten in einem Gefäfse auf, welches an Gröfse dem den Sauerstoff einschliefsenden entsprach, pumpte dieses Gefäfs aus und schmolz es hermetisch zu. Der Sauerstoffröhre im Magnetfelde gegenübergestellt, fand sich, wie erwartet ward, dafs es an Magnetkraft den Sauerstoff weit übertraf. Da es unbequem war, das Eisen noch kleiner, oder das Sauerstoffvolum noch gröfser zu nehmen, so wurde eine andere Substanz zum Vergleich gewählt.

2794. Ich löste 100 Gran von reinem, gut krystallisirtem Eisenvitriol in destillirtem Wasser und verdünnte die Lösung soweit, bis ein Glaskölbchen, von nahe gleicher Gröfse wie das Sauerstoffkölbchen, damit gefüllt, der Kraft des Sauerstoffkölbchen gleich war, oder beide, so weit ich durch meine gegenwärtigen Beobachtungsmittel mochte beurtheilen, gleich weit von der axialen Linie abstanden. Bei dieser Verdünnung nahm die Lösung ein Volum von $17\frac{1}{7}$ Kubikzoll ein. Da das Sauerstoff-Volum nur 0,34 Kubikzoll (2793), betrug, so würde ein solches Volum von der Lösung sehr nahe 2 Gran krystallisirten Eisenvitriols enthalten, entsprechend 0,4 Gran metallischen Eisens. Bei gleichem Volum ist also der Sauerstoff ebenso magnetisch wie eine wäfsrige Eisenvitriol-Lösung, die das 17fache Gewicht des Sauerstoffs an krystallisirtem Eisenvitriol oder das 3,4fache Gewicht an metallischem Eisen in diesem Verbindungszustand enthält.

2795. Ferner wurden die Röhren, welche respective Sauerstoff von einer Atmosphäre und ein Vacuum (2780) enthielten, einen Zoll auseinander, zu beiden Seiten der

Digitized by Google

Magnetaxe angebracht und dann die Magnetkraft entwickelt. Der Sauerstoff näherte sich natürlich der Magnetaxe und das Vacuum ging aequatorial. Ein vor der Lampe ausgezogener und auf einem Fufse befestigter Glasfaden von 6 Zoll wurde angewandt, um mit seinem Ende die Sauerstoffröhre in ihre frühere Lage zurückzuführen und mit der Vacuum-Röhre in gleichen Abstand von der Magnetaxe zu bringen. In dieser Lage würden die beiden Röhren, was das Glas betrifft, einander neutralisiren (2775); und betrachtet man das Vacuum als Null, oder den Sauerstoff als alleinig wirksam, so ist die Kraft, welche erforderlich war, um letzteren festzuhalten, diejenige, mit der er im Abstande von einem halben Zoll zu der Magnetaxe zu gehen trachtete. Die Biegung des Glasfadens, an dem Orte, wo sie die Röhre hielt, betrug etwas mehr als einen Zoll. Fortgenommen und in horizontale Lage gebracht (auch um 90° um seine Axe gedreht, damit der Faden in derselben Richtung gebogen würde wie zuvor), wurde er dort, wo er früher die Röhre berührt hatte, mit Gewichten beschwert, bis dieselbe Biegung wie zuvor erreicht war. Es war dazu etwas mehr als ein Zehntel-Gran erforderlich, was, wenn man erwägt, dafs der Sauerstoff nur 0,117 Gran wog und kein Theil desselben der Magnetaxe näher lag, sein mittlerer Abstand von ihr sogar mehr als einen Zoll betrug, einen hohen Begriff von der Magnetkraft desselben giebt.

2796. Es ist kaum nöthig zu sagen, dafs der Sauerstoff, bei einem so merkwürdigen und hohen Grad von Magnetkraft, nicht in der Atmosphäre existiren kann, ohne nicht auf die Anordnung des Magnetismus der Erde einen höchst wichtigen Einfluss auszuüben, besonders wenn man erwägt, dafs seine Magnetkraft durch Veränderungen der Dichte und der Temperatur so sehr verändert wird [1]). Ich glaube hierin die wahre Ursache der mannigfaltigen Veränderungen des tellurischen Magnetismus zu erblicken, die man an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche mit so vieler Sorgfalt verfolgt hat und noch verfolgt. Das gilt

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 417. (Ann. Bd. LXXIII. S. 280.)

Digitized by Google

sowohl von der täglichen wie von der jährlichen Veränderung ebenso von sehr vielen der unregelmäfsigen Variationen, welche durch die photographischen Aufzeichnungsmethoden so schön hervortreten. Bestätigen sich diese Ansichten, zeigt sich, dafs der Einflufs der Atmosphäre im Stande ist dergleichen Resultate hervorzubringen, so werden wir auch wahrscheinlich eine neue Relation zwischen dem Nordlicht und dem Erdmagnetismus auffinden, nämlich eine Relation mehr oder weniger hergestellt durch die Luft selbst, in Verbindung mit dem Raum über ihr; und selbst magnetische Relationen und Variationen, die bisjetzt nicht geahnet werden, können bei fernerer Entwicklung dessen, was ich *atmosphärischen Magnetismus* (2847 etc.) zu nennen wagen werde, aufgefunden und mefsbar gemacht werden. Vielleicht bin ich in diesen Hoffnungen zu sanguinisch, allein bisjetzt finde ich mich bestärkt in denselben durch die anscheinende Wahrheit, Einfachheit und Hinlänglichkeit der vorausgesetzten Ursache. Sobald ich diese Ansichten genügend erwogen, und an den Beobachtungen geprüft haben werde, werde ich mich beehren sie der Königl. Gesellschaft vorzulegen.

Royal Institution, 2. August 1850.

V. *Sechs und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Aus derselben Quelle wie die vorige Abhandlung.)

§. 32. Magnetisches Leitvermögen.

1. Magnetische Leitung.

2797. Die in einer früheren Reihe dieser Untersuchungen (2757 etc.) gegebenen merkwürdigen Resultate hinsichtlich der kräftigen Tendenz gewisser gasförmiger Substanzen, je nach ihrer Beziehung zu anderen gleichzeitig an-

Digitized by Google

wesenden Substanzen, entweder zu oder von der Mittellinie der Magnetkraft zu gehen, und dennoch keine Condensation oder Expansion zu zeigen (2756), welche die Folge wäre einer Anziehungs- oder Abstofsungskraft, die man zur Hervorbringung einer solchen Tendenz für nöthig erachten könnte, haben mich zu der Idee geführt, dafs die Annahme eines verschiedenen *Leitvermögens* dieser Substanzen für Magnetismus alle Erscheinungen erklären und damit auch die Natur der Magnetkraft weiter entfalten würde. Ich wage daher hier über diesen Gegenstand frei zu denken und zu sprechen, um Andere auf die Betrachtung desselben hinzuleiten, obgleich ich dabei Gefahr laufe, wegen Unvollkommenheit der Versuche und der Schlufsfolgen, in Irrthümer zu verfallen. Ich stelle jedoch die Sache bisjetzt nur hypothetisch hin und gebrauche das Wort *Leitvermögen* nur als einen allgemeinen Ausdruck für die Fähigkeit gewisser Körper, die Transmission der Magnetkraft zu afficiren, ohne etwas über die Art des Processes zu sagen. So beschränkt in seinem Sinne, kann das Wort sehr nützlich seyn, indem es uns in den Stand setzt, eine grofse Klasse von Erscheinungen unter allgemeinem Gesichtspunct zusammenzufassen.

2798. Wenn ein Medium von gewissem Leitvermögen das Magnetfeld einnimmt und darauf eine Portion eines anderen Mediums oder Körpers von gröfserem Vermögen in dasselbe Feld gebracht wird, strebt das letztere zu Orten gröfserer Kraft und verdrängt das erstere. Solches ist wenigstens der Fall mit Körpern, welche deutlich (*freely*) magnetisch sind, wie Eisen, Kobalt, Nickel und deren Verbindungen (2357. 2363. 2367 etc.), und das ist auch analog den Erscheinungen der elektrischen Induction. Wird eine Portion von noch höherem Leitvermögen angewandt, so nähert sie sich der axialen Linie und verdrängt die dahin gegangene, so dafs es scheint, als würde durch diese Art von Differentialaction (2367 2414) ein Körper von gewissem Leitvermögen angezogen in einem Medium von geringerem, und abgestofsen in einem Medium von stärkerem Vermögen.

Digitized by Google

2799. So wie diese Idee von Leitung uns Rechenschaft giebt von dem Ort, den eine Substanz annimmt, z. B. Sauerstoff in der axialen Linie, wenn es sich im Stickstoff befindet, und Stickstoff entfernt davon, wenn es von Sauerstoff umgeben ist, so kommt sie auch mit der Thatsache überein, dafs in einem einzelnen das Magnetfeld einnehmenden Gase keine Ströme vorhanden sind (2754), denn jedes Theilchen kann dann so gut leiten als ein anderes und wird daher seinen Ort behaupten: auch stimmt sie, glaube ich, mit der Unveränderlichkeit der Volume (2750).

2800. In Betreff des letzteren Punktes haben wir zu erwägen, dafs die Kraft, welche einen solchen Körper, wie Sauerstoff, gegen die Mitte des Feldes treibt, keine Centralkraft wie die Gravitation, auch keine Anziehung einer Reihe von Theilchen unter einander ist, sondern eine axiale Kraft, welche, als von sehr verschiedenem Charakter in Richtung der Axe und in der der Radien, ihre Wirkungen ganz anders als eine reine Centralkraft ausüben kann und mufs. Dafs diese Unterschiede existiren, erhellt aus der Wirkung durchsichtiger Körper auf einen Lichtstrahl im Magnetfelde und ebenso aus der gewöhnlichen Wirkung magnetischer Körper. Das ist vielleicht der Grund, weshalb, wenn der Sauerstoff in Folge seines Leitvermögens in die Mitte des Feldes gezogen wird, seine Theilchen nicht zusammengepreſst werden (2721) durch eine Kraft, die sonst dasselbe bewirken müfste (2766).

2801. Wenn zwei getrennte Portionen Sauerstoff oder Stickstoff sich im Magnetfelde befinden, geht die eine ein- und die andere auswärts, ohne Contraction oder Expansion ihrer relativen Volume. Das Resultat ist ein differentiales, indem die beiden Körper in *Beziehung* oder *Abhängigkeit* zu einander stehen, und durch gleichzeitige Beziehung zu den Magnetkraftlinien, die durch sie beide oder durch sie und das Medium ihrer gemeinschaftlichen Umgebung gehen.

2802. In Bezug auf die Transferenz der Magnetkraft nach Innen (2787) habe ich schon gesagt (2787), dafs der reine Raum oder das Vacuum eine solche Transferenz

Digitized by Google

erlaubt, unabhängig von jeder Function, die als von gleicher Natur mit dem Leitvermögen der Materie betrachtet werden kann, und in einer Weise, die mehr analog der ist, in welcher die Linien der Gravitationskraft und der statisch-elektrischen Kraft den bloſsen Raum durchdringen. Darnach zerfallen dann die Körper in solche, welche, wie der Sauerstoff, die Transmission dieser Kraft mehr oder weniger erleichtern, und in solche, welche, wie ölbildendes Gas oder Phosphor, dieselbe mehr oder weniger hemmen; ersteres sind die magnetischen oder paramagnetischen, (2790) letzteres die diamagnetischen Körper. Vielleicht ist es nicht richtig, diese beiden Eigenschaften durch das Wort *Leitung* zu bezeichnen; allein beim jetzigen Zustand der Frage und bei der schon gemachten Reservation (2797) kann es glaube ich bequem, ohne Verwirrung anzurichten, gebraucht werden.

2803. Wenn dieſs im Allgemeinen eine richtige Ansicht von der Natur und den Unterschieden der paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen ist, so können schwerlich die inneren Processe, durch welche sie ihre Functionen verrichten, dieselben seyn, obgleich sie vielleicht ähnlich sind. So *mögen* sie elektrische Circularströme in entgegengesetzter Richtung besitzen, allein ihre Verschiedenheit kann schwerlich als abhängig von dem Kraft-Unterschiede von Strömen in *gleicher* Richtung angesehen werden. Obgleich die Resultate, welche bei gleichzeitiger Anwesenheit zweier Substanzen im Magnetfelde erhalten werden, sich als differential betrachten lassen (2770 2768), selbst wenn eins von ihnen das allgemeine Medium ist, so ist doch falls die Ansicht richtig ist, in Folge des Daseyns des Leitvermögens in der Materie ein *einzelner* Körper, wenn er sich im Raume befindet, der Magnetkraft unterwürfig, und das Resultat ist: daſs wenn eine paramagnetische Substanz sich in einem Magnetfelde von ungleicher Kraft befindet, sie von schwächeren zu stärkeren Wirkungsorten zu gehen sucht, oder *angezogen* wird, und daſs ein diamagnetischer Körper unter gleichen Umständen von stärkeren zu schwä-

Digitized by Google

cheren Wirkungsorten zu gehen strebt oder *abgestofsen* wird (2756).

2804. Die Materie, wenn man ihre Kräfte erwägt, kann hinsichtlich ihrer Quantität, entweder dem Gewichte oder dem Volum nach betrachtet werden. Im gegenwärtigen Fall, wo die erzeugten Effecte einen unmittelbaren Bezug zum blofsen Raume haben (2787. 2802) scheint mir, dafs das Volum als Ausdruck zu nehmen sey, und beim Vergleiche einer Substanz mit einander nur die Anwendung gleicher Volume richtige Resultate geben könne. Keine andere Methode könnte bei dem Differential-Beobachtungssystem angewandt werden (2772. 2780).

2805. Ein anderer experimenteller Beweis für das Daseyn dieses Leitvermögens, als der aus Aenderung der Lage, durch deren Verschiedenheit ich die Eigenthümlichkeiten der paramagnetischen und diamagnetischen Körper zu erklären suchte, mag wohl erwartet werden, und er ist vorhanden; allein da gewisse, die Polarität betreffende Betrachtungen mich abhalten, zu frei auf Eisen, Kobalt und Nickel (2832) als Erläuterungen zu verweisen, und da bei anderen Körpern, paramagnetischen sowohl als diamagnetischen, die Effecte zu schwach sind, so werden sie später nach einer ferneren allgemeinen Betrachtung des Gegenstandes (2843) besser verstanden werden.

2806. Ich will nun versuchen, welchen Einflufs paramagnetische und diamagnetische Körper, als Leiter angesehen (2797), auf die Kraftlinien im Magnetfelde ausüben. Jeder von Magnetkraftlinien durchschnittene Theil des Raumes kann für ein solches Feld genommen werden, und wahrscheinlich giebt es keinen Raum ohne sie. Von Ort zu Ort, entweder längs den Linien oder quer gegen sie, kann die Intensität der Kraft im Magnetfelde verschieden seyn; allein für die gegenwärtigen Betrachungen ist es besser, ein Feld von gleicher Magnetkraft anzunehmen, und ich habe früher (2465) beschrieben, wie dasselbe für einen gewissen beschränkten Raum dargestellt werden kann. In solch

Digitized by Google

solch einem Felde variirt die Kraft weder längs den Linien noch quer gegen sie; allein die Verschiedenheit der Richtung ist so grofs und wichtig als je, und sie ward schon durch die Worte axial und aequatorial bezeichnet, je nachdem sie parallel oder winkelrecht gegen die Magnetaxe ist.

2807. Wenn ein paramagnetischer Leiter, z. B. eine Kugel von Sauerstoff, in ein solches, zuvor als frei von aller Materie betrachtetes, Magnetfeld gebracht wird, so bewirkt er eine Concentration der neben und durch ihn gehenden Linien, so dafs der von ihm eingenommene Raum mehr magnetische Kraft fortpflanzt als zuvor (Fig. 16 Taf. I.) Wenn andererseits eine Kugel von diamagnetischer Substanz in ein solches Feld gebracht wird, so veranlafst sie eine Divergenz der Linien in aequatorialer Richtung (Fig. 17 Taf. I), und durch den von ihr eingenommenen Raum geht weniger Magnetkraft als zuvor.

2808. In dieser Weise afficiren die beiden Körper *erstlich die Richtung* der Kraftlinien, nicht allein in dem von ihnen eingenommenen Raum, sondern auch in dem benachbarten; und diese Veränderung in dem Laufe der Linien hat für beide Fälle entgegengesetzte Richtung.

2809. *Zweitens* afficiren sie die *Stärke* der Kraft an jeder Stelle des Raums in oder neben ihnen, denn da jeder Schnitt quer gegen die Linien eines solchen Magnetfeldes von bestimmter Kraftstärke, und in dieser Beziehung jedem anderen Querschnitt gleich seyn mufs, so ist es unmöglich eine Concentration innerhalb der Sauerstoffkugel (Fig. 16 Taf. I.) zu bewirken, ohne nicht zugleich in den aufserhalb axial gelegenen Theilen, wie *aa*, eine Concentration, und in den aequatorial gelegenen Theilen *bb* eine entsprechende Dilatation zu veranlassen. Andererseits wird der diamagnetische Körper (Fig. 17 Taf. I.) in den gegen ihn axial liegenden Theilen *cc* des Raums eine Schwächung, und in den aequatorialen Theilen *dd* eine Verstärkung der Magnetkraft veranlassen. Ist das Magnetfeld beschränkt in seiner Ausdehnung durch das Eisen, welches die Flächen der gegenüberstehenden Pole bildet (2465), so wird sogar

Digitized by Google

die Vertheilung des Magnetismus in dem Eisen selbst afficirt durch das Daseyn der paramagnetischen und diamagnetischen Körper, und dieſs wird in der That zu groſsem Maafse geschehen, wenn aus der paramagnetischen Klasse Körper wie Eisen, Nickel oder Kobalt gewählt werden.

2810. Der Einfluſs dieser Störung der Kräfte an dem Orte eines im Magnetfelde befindlichen paramagnetischen und diamagnetischen Körpers läſst sich leicht durch Betrachtungen und durch Versuche nachweisen. Ein Eisenkügelchen, welches sich in einem durch Eisenpole begränzten Felde von gleicher Kraft befindet, hat in gleichem Abstand von den Polen eine instabile Gleichgewichtslage, und zugleich findet sowohl in demselben, als an den ihm gegenüberstehenden Polen, als auch in den dazwischen liegenden axialen Räumen eine groſse Concentration der Kraft statt. Wird das Kügelchen aus der Mitte gebracht, so fliegt es nach der nächsten Polfläche und dann kann es den gröſsten Betrag von Magnetkraft an oder auf die durch dasselbe gehenden Axiallinien bringen.

2811. Ist das Eisen ein Sphäroïd, so stellt sich sein gröſster Durchmesser axial, es mag sich in der instabilen Gleichgewichtslage befinden oder näher an den Polen oder im Contact mit ihnen. Da nun die Umstände für die Concentration der Kraft auf die durch dasselbe gehende Axiallinie günstiger sind als zuvor, so kann dieſs Resultat mit weit schwächeren paramagnetischen Körpern erreicht werden als mit dem Eisen, z. B. wie ich nicht zweifle, leicht mit einem Gefäſs voll Sauerstoff- oder Stickstoffoxydgas (2782. 2792). Es wird nun in der That eine, obwohl nicht die beste, Form von jenem Experiment, durch welches die magnetische Beschaffenheit der Körper am schärfsten nachgewiesen wird.

2812. Die relative Schwäche der Kraft bei diamagnetischen Körpern macht jeden Versuch, die umgekehrten Phänomene von denen des Eisens zu erhalten, etwas schwierig. Um die Umstände etwas zu erhöhen, wandte ich daher eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol im Magnetfelde an

Digitized by Google

und verstärkte hiedurch die durch dasselbe gehenden Kraftlinien, ohne deren Gleichgewicht in den angewandten Theilen zu stören, oder in das Princip des Experiments einen Fehler einzuführen; dann gebrauchte ich Wismuth als diamagnetischen Körper. Ein Cylinder davon, senkrecht aufgehängt, strebte nach der Mitte des Abstandes und fand dort, wo der paramagnetische Körper im instabilen Gleichgewicht gewesen war, den Ort seines stabilen Gleichgewichts. War der Cylinder horizontal aufgehängt, so stellte er sich aequatorial.

2813. Diese relativen und umgekehrten Lagen paramagnetischer und diamagnetischer Körper in einem Felde von überall gleicher Magnetkraft, stimmen wohl überein mit ihren bekannten Relationen zu einander und mit der schon (2807) im Princip niedergelegten Wirkungsart, wie mit der, welche sie auf die Magnetkraft ausüben, der sie unterworfen sind. Man wird sie dem Gedächtnifs einprägen, wenn man erwägt, dafs eine Kugel von einem flüssigen paramagnetischen Leiter, die sich an dem Wirkungsorte befände, bei Erregung der Magnetkraft sich axial verlängern und in ein oblonges Sphäroïd übergehen würde, während eine Kugel von diamagnetischer Flüssigkeit eine Ausdehnung in aequatorialer Richtung, oder eine Verwandlung in ein abgeplattetes Sphäroïd erlitte.

2814. Die *gegenseitige Wirkung* zweier Portionen von paramagnetischen Substanzen, die beide in einem Felde von gleicher Magnetkraft befindlich sind, läfst sich aus den allgemein bekannten Principien (2807. 2830) und Thatsachen voraussehen. Zwei Eisenkugeln, in derselben Aequatorial-Ebene gehalten, stofsen einander stark ab; werden sie aber aus jener Ebene gebracht, so verlieren sie erstlich ihre gegenseitige Abstofsungskraft und dann ziehen sie einander an, am stärksten, wenn sie in einer axialen Richtung sind.

2815. Bei diamagnetischen Körpern ist die gegenseitige Einwirkung schwieriger zu bestimmen, wegen der verhältnifsmäfsigen Schwäche ihrer Kraft. Ich griff daher zu dem

Digitized by Google

früher beschriebenen Hülfsmittel, indem ich eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol als das, das Feld von gleicher Magnetkraft einnehmende, Medium gebrauchte und zwei Phosphorcylinder von etwa einem Zoll Länge und einem halben Zoll im Durchmesser zu diamagnetischen Körpern nahm. Einer derselben wurde aufgehängt an dem Ende eines Hebels, welcher selber an Kokonfäden hing, so dafs er eine äufserst freie Bewegung hatte, und die Ajustirungen waren so getroffen, dafs der Phosphorcylinder, wenn er in der Mitte des Magnetfeldes war, sich ungehindert aequatorial oder quer gegen die Magnetkraftlinien bewegen konnte; er hatte jedoch dazu keine Tendenz als er unter Einflufs der Magnetkraft war. Der andere Cylinder war mit einer Handhabe von Kupferdraht versehen, mittelst der er an dieser oder jener Seite des ersten Cylinders befestigt werden konnte. Er wurde dicht neben demselben aufgestellt, und beide wurden dann festgehalten bis jede aus Bewegungen der Flüssigkeit und Luft entstehende Störung verschwunden war. Nach Entfernung des festhaltenden Körpers behielten die beiden Phosphorcylinder noch ihren Platz. Endlich wurde die Magnetkraft in Thätigkeit gesetzt, und sogleich trennte sich der bewegliche Cylinder von dem festen bis zu einem gewissen Abstand. Wurde er, während der Magnet thätig blieb, zurückgeführt und dann losgelassen, so ging er wieder fort, behielt aber seine Lage in der Nähe, wenn die Magnetkraft aufgehoben worden war. Dieser Vorgang erfolgte sowohl in der einen als in der anderen Richtung, je nachdem der feste Cylinder sich an dieser oder jener Seite des beweglichen befand; allein die Bewegung geschah in beiden Fällen winkelrecht gegen die Magnetkraftlinien, war in der That mechanisch und durch die Aufhängweise auf diese Richtung beschränkt. Als zwei Wismuthkugeln respective zu einander in Richtung der Magnetaxe so aufgehängt wurden, dafs die eine sich bewegen konnte und zwar nur in Richtung der Magnetaxe, wurde die Lage dieser durch die andere nicht merklich afficirt. Die Tendenz der beweglichen, nach der Mitte des

Digitized by Google

Feldes zu gehen (2812) überwog jede andere, welche etwa vorhanden seyn mochte.

2816. Zwei im Magnetfelde befindliche diamagnetische Köper wirken also in der That auf einander; allein, was Richtung betrifft, nicht umgekehrt wie die paramagnetischen Körper, da in beiden Fällen eine Trennung der Körper erfolgt.

2817. Der Vergleich der Wirkung para- und diamagnetischer Körper auf einander wurde dadurch vervollständigt, dafs man Wasser als Medium in einem Felde von gleicher Magnetkraft anwandte und darin ein Stück Phosphor an der Torsionswaage aufhing. Nach Erregung der Magnetkraft wurde dieses Stück durch ein zweites Phosphorstück aequatorial abgestofsen, wie zuvor; allein durch eine Röhre voll gesättigter Eisenvitriollösung angezogen. Sonach ziehen paramagnetische und diamagnetische Körper einander an in einem mittleren Medium, allein Körper gleicher Art stofsen einander ab (2831).

II. Leitungspolarität. (*Conduction polarity.*)

2818. Nachdem somit die Effecte, welche die paramagnetischen und diamagnetischen Körper durch die von ihnen bewirkte Störung der Magnetkraftlinien hervorzubringen vermögen (2807), kurz betrachtet sind, will ich die Aufmerksamkeit auf das lenken, was als ihre Polarität angesehen werden kann; ich wünsche jedoch nicht mit diesem Worte einen inneren Zustand der Substanzen oder ihrer Theilchen zu bezeichnen, sondern nur den Zustand (*condition*) der Masse, als Ganzes, in Bezug auf den Zustand (*state*), in welchen sie durch die von ihnen selbst veranlafste Störung der Magnetkraftlinien versetzt werden, und zwar sowohl in Bezug auf andere ähnlich afficirte Körper, als in Bezug auf Unterschiede zwischen den verschiedenen Theilen ihrer eigenen Masse. Ein solcher Zustand begreift das, was Leitungspolarität genannt seyn mag. Körper, die sich wenn sie unter magnetischer Wirkung stehen, im freien Raum befinden, erleiden sie in ihrem einfachsten Zustand;

Digitized by Google

Körper aber, die in andere Media getaucht sind, erleiden sie unter complicirterer Form, und ihr Betrag kann dann bis zu sehr grofsem Grade verändert, verstärkt oder verringert werden.

2819. Nehmen wir den einfachsten Fall von paramagnetischer Polarität, der in Fig. 16 Taf. I. (2807) abgebildet ist; er besteht aus einer Convergenz der Magnetkraftlinien an zwei entgegengesetzten, in Richtung der Magnetaxe liegenden, Theilen des Körpers. Der Unterschied im Charakter der beiden Pole an diesen Theilen ist sehr grofs und entspringt aus dem bekannten Qualitätsunterschied in den beiden entgegengesetzten Richtungen der Magnetkraftlinien. Ob die polare Attraction oder Repulsion unter paramagnetischen Körpern existire, wenn sie blofs Fälle von Leitung darbieten (wie z. B. Sauerstoff) ist noch nicht gewifs (2827), aber wahrscheinlich, und wenn es der Fall ist, werden sie unzweifelhaft übereinstimmen mit der Attraction und Repulsion von *Magneten*, die entsprechende Pole haben.

2820. Betrachten wir die Leitungspolarität eines diamagnetischen Körpers, so machen sich die Dinge ganz anders. Er besitzt keine solche Polarität wie eine paramagnetische Substanz, auch nicht die umgekehrte (im Namen oder in der Richtung der Kraftlinien) wie ich, Weber und Andere einst angenommen haben (2640), sondern einen ganz eigenthümlichen speciellen Zustand. Seine Polarität besteht aus einer Divergenz der Kraftlinien an den in Richtung der Magnetaxe liegenden Theilchen oder aus einer Convergenz von (*from*) den gegenüberstehenden; so dafs diese Pole, obgleich sie *dieselben* allgemeinen und entgegengesetzten Relationen zu einander besitzen, welche den Unterschieden der Pole paramagnetischer Körper entsprechen, doch jenen auffallenden Contrast und Unterschied gegen die Polarität der letzteren Körper zeigen, welcher durch Convergenz und Divergenz der Kraftlinien gegeben ist.

2821. Möge Fig. 18 Taf. I. ein begränztes Magnetfeld vorstellen, darin einen paramagnetischen Körper *P* und einen diamagnetischen *D;* ferner seyen *N* und *S* die beiden

Digitized by Google

mit dem Magnet verknüpften Eisenwände, welche dasselbe begränzen (2645), so können wir uns eine klare Idee von der Richtung der Magnetkraftlinien in dem Felde machen. Nun läfst sich von den Körpern *P* und *D* nicht sagen, sie hätten gleiche Polaritäten blofs in entgegengesetzten Richtungen. Die Polarität 1 von *P* ist wesentlich ungleich der Polarität 3 von *D*; nähme man aber an, *D* hätte die umgekehrten Polaritäten von *P*, so müfste die Polarität 1 von *P* gleich seyn der Polarität 4 von *D*, wogegen sie dieser ungleicher ist als der Polarität 3 von *D* oder selbst ihrer eigenen Polarität 2.

2822. Es giebt also in der Natur der von Leitung abhängigen Polaritäten zwei Unterschiede: den einen in der Richtung der Kraftlinien an den Polarflächen, wenn der Vergleich mit einem umgekehrten Magnet gemacht wird, und den der Convergenz und Divergenz dieser Linien, wenn man den Vergleich mit einem nicht umgekehrten Magnet anstellt; daher befindet sich ein diamagnetischer Körper nicht in dem Zustand von Polarität, welcher durch Umkehrung eines paramagnetischen Körpers, der seinen magnetischen Zustand behält, vorgestellt werden kann.

2823. Diamagnetische Körper in Medien, die diamagnetischer sind als sie selbst, besitzen den polaren Zustand paramagnetischer Körper (2819); und ebenso würden paramagnetische Körper in Medien, die paramagnetischer sind als sie selbst, die Polarität diamagnetischer Körper besitzen.

2824. Aufser diesen Unterschieden müssen die Körper noch einen aequatorialen Zustand haben, welcher bei beiden Klassen von Leitern correspondirende Effecte hervorzubringen vermag. Der ganze aequatoriale Theil von *P* (Fig. 18) ist gleich in Bezug auf den Körper *P* oder auf die Kraftlinien in dem umgebenden Raum; und eine gleiche Correspondenz herrscht in den aequatorialen Theilen von *D*, sowohl in Bezug auf diesen selbst, als auf den Raum. Allein diese Theile von *P* oder von *D* sind verschieden an Kraftstärke sowohl unter einander, als von der allgemeinen Intensität des Raums. Solche aequatoriale Zustände

Digitized by Google

müssen, glaube ich, als Folge des bestimmten Charakters eines gegebenen Querschnitts des Magnetfeldes existiren (2809).

2825. Obwohl es an experimentellen Beweisen dieser Polaritäten nicht fehlt, so sind sie doch nicht augenfällig oder unter auffallender Form darstellbar, und zwar wegen der ungemeinen Schwäche der hier ins Spiel kommenden Kräfte, verglichen mit denen, die bei gegenseitiger Wirkung von Magneten auftreten. Deshalb sind so manche Versuche zum Erweise einer solchen Polarität beim Wismuth fehlgeschlagen, oder andere nicht hierher gehörige Erscheinungen mit ihr verwechselt. Die stärkste und deshalb empfindlichste Probe auf Polarität, die wir besitzen, besteht darin, dafs wir den Körper der Richtlinie sehr starker Magnetkräfte unterwerfen, und deshalb wird das Einstellen zwischen den Polen eines kräftigen Magnets beständig für solchen Zweck benutzt. Durchaus vergebens wäre es und ist es, eine gegenseitige Wirkung zwischen den Polen zweier schwacher paramagnetischer oder diamagnetischer Leiter zu erwarten, in vielen Fällen, wo die Wirkung dieser selben Pole sich aufs deutlichste äufserst in ihrer Relation zu den fast unendlich stärkeren Polen eines kräftigen Stahl- oder Elektromagnets.

2826. Ich füllte eine Röhre *a* mit gesättigter Lösung von schwefelsaurem Kobalt (Fig. 19 Taf. I.) und hing sie zwischen den Polen des grofsen Elektromagnets auf; sie stellte sich leicht und gut. Eine andere Röhre *b* wurde nun mit gesättigter Eisenvitriollösung gefüllt, und, nachdem sie an den *S*-Pol gelegt worden, in der abgebildeten Weise der Kobaltröhre nahe gebracht; allein es war nicht die geringste Einwirkung auf die Lage von *a* zu beobachten. Die Röhre *b* wurde in die Lage *c* gebracht, um jeden etwa vorhandenen Effect zu verdoppeln; allein es war keine Spur von gegenseitiger Einwirkung zwischen den Polen *a* und *b* sichtbar (2819).

2827. Um die Wirkung zu vergröfsern, wurde die Röhre mit magnetischer Lösung in Wasser, als einem guten diamagnetischen Medium, zwischen flachen Polen aufge-

Digitized by Google

hängt (Fig. 20 Taf. I.); sie stellte sich. Zwei Flaschen mit gesättigter Eisenvitriollösung, die in *d* und *e* aufgestellt wurden, änderten nicht die Lage von *a;* und auch als sie in die Stellungen *f* und *g* versetzt wurden, übten sie auf dieselbe keinen merkbaren Einfluſs. Ich machte denselben Versuch mit einer Luftröhre in Wasser, worin dieselbe sich axial stellt (1406); aber mit gleich negativem Erfolg. Ich will nicht behaupten, daſs in diesen Fällen durchaus keine Wirkung vorhanden war (2819); allein, wenn eine da war, muſste sie unwahrnehmbar klein gewesen seyn, und dieſs zeigt, wie ungenügend dergleichen Mittel sind, um diese Wirkungen zu vergleichen mit denen, welche die Einstellnng eines Körpers unter dem Einflusse kräftiger Magnete liefert. Wenn durch diese Methoden bei so stark influencirbaren paramagnetischen Körpern wie gesättigte Lösungen von Eisen, Nickel und Kobalt, keine Polarität nachgewiesen werden kann, so läſst sich schwerlich erwarten, daſs sie sich durch analoge Actionen bei den weit schwächer wirkenden diamagnetischen Körpern äuſsern werde.

2828. Wird ein sphärischer paramagnetischer Leiter in die Mitte eines Feldes von gleicher Magnetkraft gebracht [1]), so nimmt er einen Ort instabilen Gleichgewichts ein, aus welchem er, auch nur ganz wenig verschoben, sich fortwährend bewegt, bis er die eisernen Gränzwände des Feldes erreicht hat (2465. 2810); dieſs ist Folge seines besondern polaren Zustandes. Vermöchte die Kugel ihre Gestalt zu ändern, so würde sie in Richtung der Magnetaxe sich verlängern, und, wäre sie starr von verlängerter Gestalt, so würde sie sich axial stellen, beides in Folge ihres polaren Zustandes (2811).

2829. So zeigt sich auch bei diamagnetischen Körpern ihr eigenthümlicher Polarisationszustand durch entsprechende Thatsachen, nämlich dadurch, daſs eine Kugel ihren stabilen

1) Soll wohl heiſsen: in ein Feld, worin die Kraft von der Mitte aus nach den Enden zunimmt; in einem Felde von überall gleicher Kraft könnten die in 2828 und 2829 aufgezählten Vorgänge nicht stattfinden. *P.*

Digitized by Google

Gleichgewichtsort in der Mitte des Magnetfeldes hat (2812), dafs sie, falls sie flüssig ist, sich aequatorial ausdehnt und in ein abgeplattetes Sphäroïd übergeht (2813), und dafs ein verlängertes Stück sich aequatorial stellt (2812). Werden zugespitzte Magnetpole gebraucht, so sind die Wirkungen weit stärker, aber genau von derselben Art, abhängig von denselben Ursachen und polaren Zuständen.

2830. Es giebt eine andere Reihe von Effecten, welche entweder die Resultate der schon erwähnten axialen Polarität sind oder sich als Folgen des Zustandes der aequatorialen Theile der Leiter (2824) betrachten lassen. Zwei Eisenkügelchen, in einem Felde von gleicher Kraft, in einer auf der Kraftlinie rechtwinklichen Ebene d. h. mit ihren aequatorialen Theilen neben einander liegend gehalten, trennen sich von einander mit bedeutender Kraft (2814) und wahrscheinlich würden sich zwei unendlich schwächere Körper der diamagnetischen (*paramagnetic*) Klasse ebenso trennen. Zwei Stücke von Phosphor, also einer diamagnetischen Substanz, trennten sich auch, wie sich fand, unter denselben Umständen.

2831. Die Bewegungen sind hier von gleicher Art, wogegen man entgegengesetzte erwarten sollte (2816); dennoch sind sie vollkommen vereinbar. Die diamagnetischen Körper müssen sich trennen, weil das Feld zwischen ihnen reicher an Magnetkraftlinien ist als an den Aufsenseiten, wie aus der Betrachtung der beiden Kugeln (Fig. 21 Taf. I.) leicht ersichtlich ist; und deshalb stimmt diese Bewegung überein mit dem Sich-Oeffnen und Aequatorialstellen getrennter Theilchen oder continuirlicher Massen solcher Substanzen (2829), in ihrer Tendenz, von stärkeren zu schwächeren Wirkungsorten zu gehen. Andererseits haben zwei Eisenkugeln zwischen sich schwächere Kraftlinien als ausseits; und da sie dahin streben, von schwächeren zu stärkeren Wirkungsorten zu gehen, so trennen sie sich auch, um die Bedingung des Kräfte-Gleichgewichts zu erfüllen. Endlich ziehen ein paramagnetischer und ein diamagnetischer Körper einander an (2817), und sie müssen es, denn

Digitized by Google

der diamagnetische Körper findet gegen den paramagnetischen hin einen Ort von schwächerer Wirkung, und der paramagnetische Körper findet in der Nähe des diamagnetischen einen Ort von stärkerer Wirkung. Siehe *P* und *D* Fig. 21.

2832. Zur Erläuterung der Wirkung paramagnetischer Leiter habe ich oft vom Eisen gesprochen und die Polarität desselben als gleich mit der dieser Leiter betrachtet; allein ich mufs jetzt einen Unterschied klar machen, der, meiner Meinung nach, zwischen der Polarität eines Magnets und der blofsen, wie ich sie nenne, Leitungspolarität besteht. Dieser Unterschied hat einen wichtigen Einflufs beim Eisen. Ein permanenter Magnet hat eine Polarität in sich und diese besitzen auch seine Theilchen; sie hängt wesentlich ab von der Kraft, welche der Magnet inhärent besitzt. Sie sowohl, wie die Kraft, welche sie erzeugt, ist von solcher Natur, dafs wir dem blofsen, von Materie freien Raum nicht die eine oder andere beilegen können, was für eine Form wir auch für den Raum voraussetzen oder wie starke Magnetkraftlinien wir auch denselben durchkreuzen lassen. Die Polarität eines Leiters ist nicht nothwendig von dieser Art, rührt nicht her von einer bestimmten Anordnung der Ursache oder Quelle der magnetischen Action, welche ihrerseits die specielle Richtung der Kraftlinien (2807) überwältigt und bedingt, sondern sie ist einfach Folge einer Condensation oder Expansion dieser Kraftlinien, je nachdem die betrachtete Substanz mehr oder weniger geeignet ist, den Einflufs vorwärts zu führen. Es ist offenbar etwas sehr Verschiedenes, einerseits solche Linien zu schaffen und *ihre Richtung zu bedingen*, und andererseits blofs ihren Fortgang zu befördern oder zu verzögern, ohne irgend welchen Bezug auf ihre Richtung. Figürlich gesprochen, kann dieser Unterschied verglichen werden mit dem zwischen einer Volta'schen Batterie und den Leitungsdrähten, welche deren Enden verbinden. Der Strom geht durch beide, aber es ist die Batterie, worin er entsteht und seine Richtung erhält; der Draht ist nur ein besserer oder schlech-

Digitized by Google

ter Leiter desselben, kann ihn jedoch, je nach seiner Gestalt und Beschaffenheit, diffundiren, condensiren oder variiren.

2833. Ist diese Unterscheidung angenommen, haben wir zu erwägen, ob das Eisen unter dem Einfluſs der Magnetkraftlinien zu einem Magnete werde und seine eigene Polarität erlange, oder ob es bloſs ein paramagnetischer Leiter mit dem höchsten Grade von Leitvermögen sey. Im ersten Falle würde es die wahre Polarität eines Magnets besitzen, im zweiten nur diejenige, welche ich dem Sauerstoff und anderen Leitern beilege. Meiner Meinung nach ist das Eisen ein Magnet. Es kann, als Elektromagnet, zu einer *Quelle* von Magnetkraft von höchster Stärke erhoben werden; und obgleich es, wenn es weich ist, bei Unterbrechung des elektrischen Stroms, gewöhnlich fast alle seine Kraft verliert, so ist dieſs doch nicht der Fall, wenn es einen zusammenhängenden Ring bildet, denn alsdann kann es stunden- und wochenlang die Kraft behalten, und ist offenbar während dieser Zeit eine Quelle von Magnetismus unabhängig von jedem Volta'schen Strom. Hiernach glaube ich, daſs das Eisen unter dem Einfluſs der Magnetkraftlinien zu einem Magnet werden könne; und wenn es auch dann, was Richtung betrifft, dieselbe Art von Polarität besitzt wie ein bloſser den Magnetkraftlinien unterworfener paramagnetischer Leiter, so herrscht doch dabei ein groſser Unterschied; denn so wie jedes innere Eisentheilchen in gewissem Grade ein Magnetismus erzeugendes System wird, so sind die Polaritäten aller mit einander zu einem polaren Ganzen verknüpft, welches, so wie es unendlich intensiver ist, auch in der Anordnung der Kräfte in den einzelnen Theilchen sehr verschieden seyn kann von der Polarität eines bloſsen Leiters.

2834. Es scheint mir auch sehr wahrscheinlich, daſs Eisen, Nickel und Kobalt, wenn sie bis zu den respectiven Temperaturen erhitzt werden, bei welcher sie ihre wundervolle Kraft fast ganz verlieren (2347) und nur einen sehr kleinen, durch die empfindlichsten Mittel nachweisbaren Theil behalten (2343), in den Zustand der para-

Digitized by Google

magnetischen Leiter übergehen, die Fähigkeit zur Annahme des innern Polarisationszustandes eines Magnets verlieren, und keine andere Polarität behalten als die, welche ihnen als paramagnetische Substanzen angehören (2819). Es ist auch wahrscheinlich, dafs diese Metalle in vielen ihrer Verbindungszuständen den Zustand der blofsen Leitung annehmen, so dafs z. B. das Eisen, während es im Oxydul ein Magnet seyn mag, im Oxyd ein blofser Leiter ist, und in dieser Beziehung hat es nichts Auffallendes zu sehen, dafs der Sauerstoff, welcher als Gas ein paramagnetischer Körper ist (2782), das Eisen, bei gleichem Gewichte, auf seinen eigenen Zustand und weit darunter herabsetzt. Auch in ihren Salzen und Lösungen mögen diese Metalle, im Verein mit der mit ihnen verbundenen Substanz, als blofse Leiter wirken.

2835. Vielleicht hätte ich die Concentration oder Expansion der Magnetkraftlinien in den als Leiter wirkenden Körpern nicht Polarität nennen sollen, in sofern die wahre magnetische Polarität wesentlich und alleinig von der *Richtung* der Kraftlinien abhängt, und nicht von einer blofsen Compression oder Divergenz derselben. Allein ich habe es auch nur gethan, um leichter auf Thatsachen und Ansichten verweisen zu können, welche bisher verknüpft worden sind mit einer vermeintlichen Polarität in den Körpern, welche, ob paramagnetische oder diamagnetische, ich als blofse Leiter betrachtet habe, und ich hoffe deshalb, dafs meine Meinung nicht mifsverstanden werde. Bereits entschuldigte ich den Gebrauch von Worten, wie Magnetkraftlinien, Leitvermögen u. s. w. (2149. 2797), da sie mich einstweilen von dem Zwange herkömmlicher Bezeichnungen befreien. Sie können aus diesem Grunde äufserst nützlich seyn, so bald man ihre Bedeutung nur hinreichend beschränkt, und keine schädliche Nachlässigkeit und Ungenauigkeit in Darstellung der Thatsachen damit begeht.

Digitized by Google

III. Magnekrystallische Leitung[1]).

2836. Die schönen Untersuchungen von Plücker über die magnetischen Erscheinungen werden noch erinnerlich seyn und daneben hoffentlich auch meine eigenen über die Magnekrystallität (2454 etc.). Die von uns beschriebenen Erscheinungen haben, glaube ich, eine gemeinsame Ursache und gleiche Natur; und so weit sie reine und durchsichtige Körper betreffen, sind sie, meiner Meinung nach, durch Plücker in gehörige Relation zu der positiven und negativen optischen Axe solcher Körper gebracht worden[2]). In diesen Fällen stellt sich ein krystallisirter Körper kräftig ein und nimmt im Magnetfelde eine eigene Lage an (2464. 2479. 2550), unabhängig von seinem paramagnetischen und diamagnetischen Charakter (2562), so wie auch ohne Annahme eines Zustandes, den er aufserhalb des Magnetfeldes behielte (2504).

2837. Auf diese magnekrystallischen Körper angewandt, scheint die Idee der Leitung alle speciellen Erscheinungen derselben zu erklären. Eine magnekrystallische Substanz wäre dann eine, welche im krystallisirten Zustand vorwärts (*onwards*) leitete oder die Ausübung der Magnetkraft in einer Richtung mit gröfserer Leichtigkeit gestattete als in anderer; und diese Richtung wäre die Magnekrystallaxe. Im Magnetfelde würde also die Magnekrystallaxe in eine mit der Magnetaxe coïncidirende Lage getrieben werden durch eine jenem Unterschiede entsprechende Kraft, gerade wie von zwei verschiedenen Körpern der vom gröfseren Leitvermögen den vom schwächeren verdrängt.

2838. So wäre der Effect der Lage erklärt (2586) und auch die gröfsere Fähigkeit zur magnetischen Leitung in einer Richtung als in einer anderen (2588. 2591), und ebenso verschwindet, was mir früher so anomal erschien, in der Annahme, dafs eine Kraftlinie eine indifferente Relation

1) Ich mufs hier auf den wichtigen Aufsatz der HH. Tyndall und Knoblauch im *Phil. Mag.* 1850 *Vol. XXXVII. p.* 1. (Annalen Bd. 81, S. 481) hinweisen.

2) *Phil. Mag.* 1849 *Vol. XXXIV. p.* 450. (Ann. Bd. 77, S. 447.)

Digitized by Google

zu jedem Theil einer Ebene haben sollte (2600). Dafs Wärme diefs Leitvermögen fortnimmt (2670), scheint mir vollkommen übereinzustimmen mit dem, was wir von dem Einflufs der Wärme auf den Magnetismus des Eisens, Sauerstoffs u. s. w. so wie auf das elektrische Leitvermögen des Platins, Schwefelsilbers u. s. w. wissen. Endlich scheint auch die Voraussetzung nicht unverträglich mit dem Zustand, welchen die Körper, während sie unter Wirkung der Magnetkraft stehen, anzunehmen scheinen (2609).

2839. Bei Richtigkeit dieser Ansicht scheint indefs zu folgen, dafs ein diamagnetischer Körper, wie Wismuth, bei paralleler Stellung seiner Magnekrystallaxe zur Magnetaxe, weniger diamagnetisch seyn müfste als bei winkelrechter. In diesen beiden Stellungen müsse er aequivalent seyn zweien Substanzen von verschiedenem Leitvermögen für Magnetismus, und desbalb müfste er an der Differentialwaage analoge Differentialphänomene darbieten wie Sauerstoff und Stickstoff (2774) oder Phosphor und Wismuth oder irgend zwei andere verschiedene Körper. Obgleich ich früher (2551. 2552. 2553) gewisse Resultate angegeben habe, die darauf hinzudeuten scheinen, so sind sie doch beim gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse nicht genügend, weil der Unterschied, wenn überhaupt einer vorhanden, zu klein ist (2552) und bei Anwendung eines einzelnen zugespitzten Pols schnell verschwindet. Andere früher (2554—61) beschriebene Versuche, obwohl zu dem beabsichtigten Zweck ganz geeignet, würden doch einen kleinen Unterschied in der magnetischen Kraft nicht zeigen, weil sie mit flachseitigen Polen und einem Feld von nahe gleicher Magnetkraft angestellt wurden.

2840. Die Differential-Torsionswaage (2773) setzte mich in den Stand, mit besserer Hoffnung auf Erfolg zu diesem Gegenstande zurückzukehren. Eine Gruppe übereinstimmend liegender (*consistent*) Wismuthkrystalle (2457) wurde an der einen Seite des Doppelkegel-Kerns (2738) aufgehängt und ihr gegenüber an der anderen Seite ein Cylinder von Flintglas. Das Flintglas wurde als Verglei-

Digitized by Google

chungspunkt gewählt, und daher in seiner Lage an der Waage und in der Beschaffenheit während des Versuchs nicht verändert. Die Wismuthgruppe war mit ihrer Magnekrystallaxe horizontal gelegt, und diese konnte in horizontaler Ebene gedreht werden, damit sie einmal parallel zu der Magnetaxe oder Kraftlinie und ein anderes Mal winkelrecht gegen dieselbe lag, jedoch ohne Veränderung des Abstandes ihres Schwerpunkts von dem gegenüberliegenden Glascylinder. Indem man ihr nun die eine oder andere Lage gab, konnte man sie mit dem Cylinder vergleichen.

2841. Die Magnekrystallaxe wurde zuvörderst dem Kern oder der Magnetaxe parallel gestellt, dann die Magnetkraft entwickelt und nachdem der diamagnetische Körper zur Ruhe gekommen war, die Lage des Waagbalkens beobachtet, mittelst eines Lichtstrahls, der von einem daran befestigten Spiegel reflectirt wurde. Dann wurde das Wismuth um 90° gedreht, oder seine Magnekrystallaxe winkelrecht gegen die Axe des Doppelkegel-Kerns gestellt; wenn nun der Magnet erregt ward, entfernte sich das Wismuth weiter ab vom Kern als zuvor. Nochmals um 90° gedreht, so dafs es diametral zu seiner ersten Lage war (2461), stellte es sich dem Magnet etwas näher; und in der vierten Lage, die diametral zur zweiten war, lag es wieder ferner davon. So erweifst sich denn das krystallisirte Wismuth, je nach der Lage seiner Magnekrystallaxe, in verschiedenem Grade diamagnetisch; bei winkelrechter Lage dieser Axe gegen die Magnetkraftlinien ist es stärker diamagnetisch als bei paralleler; und somit fand sich die auf theoretische Betrachtungen (2839) gegründete Erwartung bestätigt.

2842. Ich versuchte ähnliche Resultate mit einem Kalkspathwürfel (2597) zu erhalten; denn es ist klar, dafs er, wenn man ihn mit seiner optischen Axe horizontal, zunächst parallel, dann winkelrecht zur Magnetaxe stellt, in der ersten Stellung diamagnetischer seyn mufs als in der zweiten, in sofern die letztere diejenige ist, welche er vermöge seines magnekrystallischen oder magneoptischen Zustan-

Digitized by Google

standes annimmt. Ich konnte jedoch kein deutliches Resultat erlangen, theils weil die Kraft des Kalkspaths in jeder Beziehung viel schwächer ist als die des Wismuths, theils weil meine jetzige Torsionswaage zu unvollkommen ist, theils auch wegen der Gestalt und Gröfse des Kalkspaths. Eine Kugel oder ein Cylinder, dessen Axe winkelrecht gegen die optische Axe wäre, würden zweckmäfsigere Formen für die zu untersuchenden Substanzen seyn.

2843. Indem ich diesen Theil der das magnetische Leitvermögen betreffenden Untersuchung schliefse, will ich noch einige Fälle anführen, welche, glaube ich, experimentell das *Daseyn* desselben in beiden Klassen von magnetischen Körpern (2805) feststellen. Der Ort und die Lage des Eisens in einem Felde von gleicher Kraft (2810. 2811) sind offenbar die Resultate seines aufserordentlichen Vermögens, die Magnetkraft durch den von ihm eingenommenen Raum fortzupflanzen, die Theilchen des Eisens mögen nun als polar betrachtet werden oder nicht (2832), und deshalb sehe ich das umgekehrte Verhalten eines diamagnetischen Körpers, rücksichtlich des Orts und der Lage, (2812. 2813) als Beweis an, dafs er die Magnetkraft mit geringerer Kraft als der von ihm eingenommene Raum fortzupflanzen vermag, und daraus schliefse ich, dafs er diamagnetisch leite (2802).

2844. Das Auseinanderweichen paramagnetischer Körper in aequatorialer Richtung ist ein Beweis von der Art, wie sie, vermöge ihrer besseren Leitung, die Lage der Kraftlinien in dem umgebenden Medium stören (2831). Das Auseinanderweichen diamagnetischer Körper unter gleichen Umständen ist ebenso ein Beweis von der Art, wie auch sie vermöge eines anderen Leitvermögens, die Anordnung der Kraft stören (2831). Die aequatoriale Anziehung zwischen einem paramagnetischen und einem diamagnetischen Körper, wenn sie sich in einem Medium befinden, welches im Leitvermögen zwischen ihnen steht (2831), ist ein Beweis nicht allein von Leitung in beiden, sondern auch vom

Digitized by Google

umgekehrten Verhalten beider zu einander und dem umgebenden Medium.

2845. Dafs ein Wismuth sich mehr oder weniger entfernt von der Magnetaxe stellt (2841), je nachdem seine Magnekrystallaxe parallel oder winkelrecht zur axialen Linie liegt, ist auch die Folge des Unterschiedes im Leitvermögen, und deshalb ein Beweis vom Daseyn dieses Vermögens im diamagnetischen Körper. Fälle, die für das Daseyn dieses Vermögens sprechen, liefsen sich noch mehre anführen, allein ich glaube die angeführten werden hinlänglich meine Meinung auseinandersetzen.

2846. Kaum habe ich wohl nöthig zu sagen, dafs ich unter magnetischer Leitung nicht Elektroleitung oder etwas Aehnliches verstehe. Die aller besten Elektroleiter, wie Silber, Gold und Kupfer, stehen hinsichtlich ihrer Fähigkeit, die Magnetkraft fortzupflanzen, unter dem bloßen Raum; so sehr fehlt es ihnen an dem, was ich magnetische Leitung nenne. Zwischen dieser Leitung der Magnetkraft und dem, was ich früher bei der statischen Elektricität specifische inductive Capacität nannte (1252 etc.), herrscht eine auffallende Analogie, welche, wie ich hoffe, zu fernerer Erläuterung der Weise führen wird, in welcher die Kraftlinien von Körpern afficirt und zum Theil fortgepflanzt werden.

§. 33. Atmosphärischer Magnetismus [1]).

2847. Es scheint mir unmöglich zu seyn, dafs die Atmosphäre zu zwei Neunteln ihres Gewichts aus einem sehr

1) In den *Philosoph. Transact. f.* 1827 *p.* 308 steht ein sehr wichtiger Aufsatz vom Professor Christie: *On the Theory of the Diurnal Variation of the Magnetic Needle.* Geleitet durch Seebeck's Entdeckung des Thermomagnetismus und Cumming's Versuche, wurde er zu untersuchen veranlafst, wie weit die Idee von Thermoströmen oder von einer thermomagnetischen Polarität auf die Natur-Erscheinungen anwendbar sey, und kam zu dem Schlufs (*p.* 327), dafs in der Annahme, *die Erde und die Atmosphäre* bestehe aus Substanzen, in welchen unter Umständen eine solche Wirkung stattfinden könne, diese Versuche beweisen würden, dafs *jeder Theil der Erde, der von pa-*

Digitized by Google

magnetischen Körper bestehe, der durch vermöge des täglichen und jährlichen Laufs der Sonne bewirkte Tempera-

rallelen Ebenen mit der umgebenden Atmosphäre begränzt wäre, ähnlich polarisirt werden würde, sobald ein Theil mehr als der andere erwärmt worden. So würden wir, wenn man blofs die *Aequatorialregionen der Erde* betrachtete, *zwei Magnetpole an der Nordseite, und zwei ähnlich gelagerte an der Südseite haben, wobei die ungleichnamigen Pole einander an den entgegengesetzten Seiten des Aequators gegenüberständen.*

Ich mufs die Leser meiner Abhandlung verweisen auf eine von A. de la Rive aufgestellte Theorie der *Ursache* der täglichen Variationen, die auf die Idee von thermo-elektrischen Strömen in der Atmosphäre und der Erde gegründet ist. Sie findet sich in den *Ann. de chim. et de phys* 1849 *T. XXV. p.* 310, unter dem Titel: *Sur les variations diurnes de l'aiguille aimantée et sur les aurores boréales.*

Einer meiner Freunde hat mich kürzlich aufmerksam gemacht auf eine Bemerkung von Hrn. E. Bequerel, die mit dem vorliegenden Gegenstand in Beziehung steht und folgendermafsen lautet: »*Si l'on réfléchit, que la terre est entourée d'une masse d'air équivalant au poids d'une couche de mercure de* 76 *centimètres, on peut se demander si une pareille masse de gaz magnétique, continuellement agitée, et soumise à des variations régulières et irrégulières de pression et de température n'intervient pas dans quelques-uns des phénomènes dependant du magnétisme terrestre. Si l'on calcule en effect, quelle est la puissance magnétique de cette masse fluide, on trouve qu'elle équivaut à une immense lame de fer, d'une épaisseur d'un peu plus de* 0,1 *millimètre de diamétre et qui couvrirait la surface totale de la globe*". Diese Stelle findet sich in den *Ann. de chim. et de phys.* 1850 (*Vol. XXVIII. p.* 341 und 342), in einer vortrefflichen Abhandlung, in welcher der Verf. die von mir vor *fünf* Jahren entwickelten (*Experiment. Research* 2357. 2361. 2406. 2414) Differentialwirkungen verschiedener Gase gut ausgearbeitet hat. Durch solche Mittel hat er den Magnetismus des Sauerstoffs wieder entdeckt und dessen Kraft gemessen, offenbar unbekannt mit der Untersuchung, die ich über diese Substanz, in Bezug auf Stickstoff und andere Gase *drei* Jahre früher gab in einem Briefe, der im *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 401, in Poggendorff's Annalen (Bd. LXXIII. S. 256) und anderswo veröffentlicht ist. Ich darf mich nicht darüber wundern, da ich selbst Hrn. E. Bequerel's Aufsatz erst ganz kürzlich kennen lernte. In meinem Briefe von 1847 spreche ich von Sauerstoff als magnetisch in gemeiner Luft (*p.* 410), in Kohlensäure (*p.* 414), in Steinkohlengas (*p.* 415) und in Wasserstoff (*p.* 415), worin sein Magnetismus seinem Gewichte gleich sey. Ich sage, dafs die Luft ihren Ort dem darin enthaltenen Sauerstoff

Digitized by Google

tur- und Dichtigkeitsänderungen (2780) grofsen Veränderungen in seinem Magnetismus ausgesetzt ist, ohne dafs er nicht zugleich mit der Anordnung der Magnetkraft auf der Erdoberfläche zusammenhänge (2796) und somit vielleicht eine Erklärung liefere von einem grofsen Theil der jährlichen, täglichen und auf kurze Zeit eintretenden unregelmäfsigen Variationen, welche in dieser Kraft vorkommen. Ich kann nicht behaupten, diese grofse Frage mit vieler Einsicht zu behandeln, da ich von den Arbeiten v. Humboldt's, Hansteen's, Arago's, Gaufs's, Sabine's und anderer ausgezeichneter Physiker im Gebiete des tellurischen Magnetismus sehr wenig specielle Kenntnifs besitze. Allein da es mein Loos gewesen ist, gewisse fundamentale Thatsachen in die Physik einzuführen, und ich natürlich über die allgemeinen Principien ihrer Relationen zu den magnetischen Wirkungen der Atmosphäre viel nachgedacht habe, so mag es mir erlaubt seyn, diese Principien hinzustellen, so gut ich es vermag. Sind die Principien richtig, so werden sie bald ihre specielle Anwendung finden auf die an verschiedenen Orten der Erde vorkommenden magnetischen Erscheinungen.

2848. Die Erde erweist sich uns als einen sphärischen Körper, bestehend aus paramagnetischen und diamagetischen Körpern, die nicht allein gegen das Land und den Ocean sondern auch in ihren kleineren Theilen sehr unregelmäfsig angeordnet und vermengt sind. Defsungeachtet ist sie als Ganzes ein Magnet, und, so viel wir bis jetzt wissen, ein Magnet von urspränglicher Kraft. Wir können zwar bisjetzt nicht einsehen, dafs alle Theile des Erdkörpers zu dessen Magnetismus beitragen, da viele von ihnen diamagnetisch und viele auch Nichtleiter elektrischer Ströme sind,

und Stickstoff verdanke (*p.* 416) und versuche diese Bestandtheile durch Anziehung des Sauerstoffs und Abstofsung des Stickstoffs zu trennen. Am Ende des Aufsatzes stehe ich an zu entscheiden, wohin der wahre Nullpunkt zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern zu legen sey, und verweise auf die Atmosphäre als dem magnetischen Einflufs der Erde unterworfen. Es waren diese früheren Resultate, welche mich zu den gegenwärtigen Untersuchungen führten. — 1850 Nov. 28

Digitized by Google

aber dennoch läfst sich schwerlich sagen, dafs irgend ein gröfserer Theil nicht zur Erzeugung der Kraft mitwirke. Vielleicht ist es späterhin nothwendig gewisse Theile als blofse Leiter, d. h. als Theile, die von anderswo entspringenden Kraftlinien blofs durchdrungen werden, zu betrachten, allein für jetzt kann das Ganze, gemäfs der Theorie von Gaufs, als ein mächtiger zusammengesetzter Magnet angesehen werden.

2849. Die Magnetkraft dieses grofsen Systems ist mit einem gewissen Grade von Regelmäfsigkeit angeordnet. Wir haben nur Gelegenheit es zu erkennen, wie es sich in *einer* Fläche zeigt, welche von sehr unregelmäfsiger Gestalt und für uns immer dieselbe ist; denn wir können, wenn überhaupt, nur wenig zu ihr hinausgehen, und, wenn es geschieht, wie in einem Luftballon, nur in unbedeutendem Maafse. Diefs ist die Erdoberfläche des Landes und des Wassers unseres Planeten. Die in oder durch diese Fläche gehenden Magnetkraftlinien werden uns, ihrer Richtung und Intensität nach, durch ihre Wirkung auf kleine Magnetstäbe gegeben; allein ihren durchschnittlichen Lauf oder ihre temporäre Veränderungen *darunter* und *darüber*, im Innern der Erde und oben in der Luft, werden durch die Variationen der Kraft an der Erdoberfläche nur dunkel angezeigt, und wir erfahren dadurch nicht, ob die Ursache derselben oben oder unten liege.

2850. Die Kraftlinien gehen von der Erde in den nördlichen und südlichen Theilen mit verschiedenen Graden der Neigung aus und verbreiten sich über die aequatorialen Theile. Ihre allgemeine Anordnung ist so, wie auf einer Kugel, die im Innern einen oder zwei kurze Magnete in gehöriger Stellung gegen die Axe besitzt. Aus der Analogie einer solchen Kugel mit der Erde hat man Grund zu glauben, dafs die von letzterer ausgehenden Magnetkraftlinien wieder zu ihr zurückkehren; allein ihre geschlossenen Bahnen (*circuitous course*) mögen sich durch einen Raum von vielen Erddurchmessern oder Tausenden von Meilen erstrecken. Gay-Lussac und Biot nahmen

Digitized by Google

auf ihrer Luftfahrt, in der Höhe von etwa vier (engl.) Meilen, eine Anzeige von Abnahme in der magnetischen Intensität gewahr; allein wir werden bald sehen, dafs sie sich inmitten von Einflüssen befanden, die diesen Effect hinreichend erklären, so dafs nichts davon durch die Entfernung von der Erde, als Magnet, veranlafst wurde. Die Zunahme der magnetischen Intensität von dem Aequator nach den Polen hin, stimmt mit der Idee von einer ungeheuren Erstreckung dieser Kraft.

2851. Diese Linien durchdringen den Raum mit einem gewissen Grade von Leichtigkeit, von welchem man sich auf gewöhnlichem Wege (*from ordinary knowledge*) oder aus früheren Versuchen und Beobachtungen eine allgemeine Idee verschaffen kann (2787). Ob es Umstände gebe, welche ihren Durchgang durch den blofsen Raum afficiren und so ihre Beschaffenheit ändern, ob Veränderungen in der sogenannten Temperatur des Raums, wo sie vorkommen, den Durchgang des magnetischen Einflusses ändern, sind Fragen, die sich bisjetzt noch nicht beantworten lassen, obgleich die letztere nicht ganz aufser dem Bereich des Versuchs zu liegen scheint.

2852. Dieser Weltraum bildet den grofsen Abgrund in welchen die von der Erde ausgehenden und mit unseren Beobachtungswerkzeugen erkennbaren Kraftlinien sich verlaufen, wenigstens überall dort, wo die magnetische Neigung beträchtlich ist; allein zwischen der Erde und diesem Raum liegt die Atmosphäre, die, wie bedeutend wir auch ihre Höhe schätzen wollen, doch, verglichen mit der Gröfse der Erde und der Ausdehnung des von Kraftlinien durchdrungenen Weltraums, so klein ist, dafs die Annahme sie sey ein veränderliches Zwischenglied zwischen zwei ausgedehnten Systemen von standfesterer Natur nicht zu einem ernstlichen Irrthum führen kann. Auf dem Boden dieser Atmosphäre ist es, wo wir leben und alle unsere Beobachtungen und Versuche anstellen.

2853. Die Atmosphäre besteht, so weit es hier darauf ankommt, aus vier Volumen Stickstoff und einem Volume

Digitized by Google

Sauerstoff oder, dem Gewichte nach, aus viertehalb Theilen des ersten und einem Theile des letzteren. Die Substanzen sich nahezu gleichförmig durch einander gemischt, so dafs sie, rücksichtlich der Weise wie sie die Erde umhüllen, magnetisch als ein einfaches Mittel wirken; auch scheint in den magnetischen Kräften keine Tendenz zu liegen, sie von einander zu trennen [1]), obgleich sie in ihrem Verhalten zu diesen Kräften sehr von einander abweichen.

2854. Der *Stickstoff* der Luft scheint weder paramagnetisch noch diamagnetisch zu seyn; liegt er nicht auf dem Nullpunkt, so ist er doch, diefs- oder jenseits, nur wenig von demselben entfernt (2783. 2784). So weit die bisherigen Versuche reichen hat er, dicht oder locker, dieselbe Relation zum Raum. Und was das andere Element zur Veränderung, die Temperatur, betrifft, so schlofs ich früher aus unvollkommenen Versuchen [2]), dafs er, bei Erhitzung, stärker diamagnetisch werde; allein da er damals mit dem Sauerstoff der Luft vermischt war, so habe ich für den gegenwärtigen Zweck die Versuche sorgfältiger wiederholt.

2855. Ein kleiner Schraubendraht von Platin, befestigt an den Enden von dickeren Kupferdrähten, konnten zwischen den Polen des grofsen Elektromagnets in jede Lage gebracht und dann mittelst einer Volta'schen Batterie ins Glühen versetzt werden, um Gase in seiner Umgebung dadurch zu erwärmen. Die Magnetpole endeten in Halbkugeln von weichem Eisen und 0,76 Zoll im Durchmesser; sie standen 0,2 Zoll aus einander und waren mit einer Glasglocke bedeckt, die auf einer dicken Unterlage von geschwefeltem Kautschuk ruhete. Durch diese Unterlage bis zur Wölbung der Glocke hinauf, ging eine Röhre, durch welche jedes erforderliche Gas eingeführt werden konnte. Ein sehr dünnes Glimmerblatt, etwa drei Zoll im Quadrat, war auf der oberen Seite mit einer sehr dünnen

1) *Philosoph. Magazine* 1847, *T. XXXI. p.* 416. (Ann. Bd. LXXIII, S. 279.

2) Ibid p. 418. (Ann. Bd. LXXIII. S. 281.)

Digitized by Google

Lage Wachs überzogen, und innerhalb der Glocke horizontal über den Magnetpolen befestigt. Die kleine Platinschraube war so angebracht, dafs sie sich unter dem Raum zwischen den Polen befand, etwas seitwärts der axialen Linie, so das der von ihr aufsteigende heifse Luftstrom zu dem Glimmerblatt gelangen und durch das Schmelzen des Wachses anzeigen konnte, wo er dieses Blatt berührte.

2856. Alles ging vortrefflich, so wie *Luft* in der Glocke, war. Bei Abwesenheit der Magnetkraft stieg die heifse Luft senkrecht vom Platindraht in die Höhe und schmolz einen scharfen runden Fleck von Wachs fort, der die Stelle des Stromes anzeigte. Allein so wie der Magnet in Thätigkeit versetzt war, blieb das Wachs auf dem Glimmer unverändert, indem die heifse Luft so weit von der axialen Linie entfernt und durch Vermischung mit der benachbarten Luft so stark abgekühlt ward, dafs sie nirgends einen Wachsfleck zu schmelzen vermochte. So wie die Magnetkraft aufgehoben wurde, stieg die heifse Luftsäule wieder vertical in die Höhe und nahm ihre ursprüngliche Lage an.

2857. *Kohlensäuregas* wurde nun in die Glocke geleitet, bis das Doppelte von dem, was die Glocke fafste, durch die Röhre (2855) gegangen war; da es aber schwerer als die gemeine Luft ist und diese nur am Boden der Glocke hinausgeleitet werden konnte, so blieb ohne Zweifel ein Theil derselben dem Gase beigemengt. Bei Erhitzung des Platindrahts stieg die Säule des heifsen Gases senkrecht in die Höhe, wie zuvor, allein nach Erregung der Magnetkraft, wich sie von der axialen Linie ab, ging aequatorial, und schmolz das Wachs einen halben Zoll vom früheren Orte entfernt. Befürchtend, dafs selbst diese Wirkung von der dem Gase beigemengten Luft herrühren möchte, wurden andere zwei Volume des Gases in und durch das Gefäfs geleitet. Jetzt bewirkte die Magnetkraft eine viel geringere Ablenkung der aufsteigenden Säule. Als nochmals zwei Volume Gas hindurch geleitet wurden, stieg die heifse Säule so nahe senkrecht in die Höhe, dafs bei

Digitized by Google

voller Wirksamkeit des Magnets und bei gänzlicher Abwesenheit derselben kaum ein Unterschied ihres Ortes merklich war. Daraus schliefse ich, dafs das diamagnetische Verhalten der Kohlensäure durch den Unterschied zwischen gewöhnlicher Temperatur und voller Rothglühhitze sehr wenig verändert wird.

2858. *Stickstoff.* — Dieses Gas, bereitet durch langsames Hinüberleiten von gemeiner Luft über brennendem Phosphor und nachheriges zwölf- bis vierzehnstündiges Waschen, wurde nun in die Glocke geleitet, um die Kohlensäure auszutreiben. Da es leichter als letztere ist, so bewirkt es diesen Dienst sehr gut, und wahrscheinlich enthielt das im Gefäfs zurückbleibende nicht mehr Sauerstoff oder Luft als es mit sich führte. Dieser Stickstoff, alsdann durch den Platindraht erhitzt, zeigte sich so indifferent gegen den Magnet als die Kohlensäure. Die erhitzte Säule erhob sich (beinahe) gegen dieselbe Stelle des Glimmers, die Magnetkraft mochte wirksam seyn oder nicht. Zwar ging sie bei Wirksamkeit des Magnets ein wenig auswärts oder aequatorial, allein ich schreibe diefs einer geringen noch beim Stickstoff gebliebenen Menge Sauerstoff zu; und in der That wies Salpetergas auch etwas Sauerstoff in dem Stickstoff nach. Der Platindraht ward nun so stark erhitzt, als es ohne Schmelzen desselben geschehen konnte, aber dennoch war nur diese kleine Wirkung sichtbar. Daraus schliefse ich, dafs heifser Stickstoff nicht diamagnetischer ist als kalter, und in der That wird sein magnetisches Verhalten durch einen solchen Temperaturunterschied auch gar nicht verändert.

2859. Ich hob die Glasglocke (2855) momentan auf und setzte sie sogleich wieder nieder; und als ich jetzt den Magnet wirksam und den Platindraht heifs machte, erfolgte eine solche Dispersion des Gases, dafs der geschmolzene Wachsfleck fast einen Zoll von seinem normalen Ort nach aufsen lag; und doch hatte nur eine sehr kleine Portion Sauerstoff oder Luft in das Gefäfs eindringen können.

2860. Der Stickstoff der Luft ist deshalb, in Bezug

Digitized by Google

auf Magnetkraft, ein sehr indifferenter Körper; er scheint weder para- noch diamagnetisch zu seyn, zeigt auch keinen Unterschied in seinem Verhalten, er mag dicht oder locker, heifs oder kalt seyn. Früher fand ich, dafs diamagnetische Metalle bei Erhitzung ihr Verhalten zum Magnet nicht zu ändern scheinen (2397), und das scheint auch bei solchen neutralen oder diamagnetischen Körpern wie Stickstoff und Kohlensäure der Fall zu seyn.

2861. Der *Sauerstoff* der Luft weicht vom Stickgas in sehr aufserordentlichem Grade ab. Er ist höchst paramagnetisch, bei gleichem Volum so stark wie eine Lösung, die das 17fache Gewicht des Sauerstoffs an Eisenvitriol enthält (2794). Er wird bei unverändertem Volum (2780) weniger magnetisch so wie er verdünnt wird, anscheinend im einfachen Verhältnifs zur Verdünnung, wenn die Temperatur dieselbe bleibt. Steigert man seine Temperatur und läfst es dabei sich ausdehnen [1]), so verliert es einen grofsen Theil seiner paramagnetischen Kraft; und aus einem früheren Versuch mit Luft [2]) hat man hinreichenden Grund zu schliefsen, dafs, bei Erniedrigung der Temperatur, seine paramagnetische Kraft zunehme. Wie stark seine paramagnetische Intensität zunehme bei einer Erkältung bis zur Gefriertemperatur des Quecksilbers, wie sie an den Polen der Erde herrscht, läfst sich für jetzt nicht sagen. Indefs ist ein Gas innerhalb der Temperatur, welche seine magnetischen Kräfte afficirt, anscheinend einem starren Metalle, Eisen, Kobalt, Nickel gleich, und es mag daher beim Erkalten sehr magnetisch werden.

2862. Diefs Verhalten bewahrt er bei der Vermischung mit Stickstoff in der Luft, so lange als seine physischen und chemischen Zustände unverändert bleiben; aber jede Operation, durch welche dieser wirksame Theil der Atmosphäre in seiner Natur verändert oder zu Verbindungen genöthigt wird, mögen diese starr, flüssig oder gasig seyn, nimmt ihm seinen paramagnetischen Charakter.

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. p.* 417. (Ann. Bd. LXXIII. S. 280.)
2) Ibid. p. 406. (Ann. Bd. LXXIII. S. 264.)

Digitized by Google

2863. Daher ist denn die Atmosphäre, in gewöhnlichem Sinn, ein höchst magnetisches Medium. Die auf jedem Quadratfufs der Erdoberfläche ruhende Luft ist an Magnetkraft aequivalent mit 8160 Pfund krystallisirten Eisenvitriols (2794. 2861). Bei jeder Veränderung seiner Dichte, mag sie barometrischer oder thermometrischer Art seyn, ändert diefs Medium seyn magnetisches Verhalten. Ueberdiefs übt jede Temperaturvariation anscheinend ihren eigenen Einflufs in Zusatz zu dem aus, welchen eine blofse Volumsveränderung bewirkt, und keine dieser Veränderungen kann sich zutragen, ohne nicht die Magnetkraft der Erde zu afficiren, und in deren Richtung und Intensität auf der Erdoberfläche Variationen hervorzurufen. Ob diese Veränderungen in gerader Richtung geschehen und in Quantität hinreichend seyen, um eine Ursache der Variationen der erdmagnetischen Kraft bilden zu können, ist eine Frage, zu deren Erläuterung ich zunächt einen Typus-Fall aufstellen will, um diesen dann, so gut ich kann, auf die wirklichen Fälle anzuwenden.

2864. Angenommen, es gebe zwei Luftkugeln, die von der umgebenden Atmosphäre durch einen Temperatur- oder einen Dichtigkeitsunterschied verschieden seyen. Diese Annahme ist nicht zu extravagant für eine Erläuterung, da Prout gezeigt hat, dafs in der Atmosphäre gröfsere oder kleinere Luftmassen herumschwimmen, die durch Temperatur und andere Umstände auffallend von den umgebenden Theilen verschieden sind. Um die Sache nicht zu complíciren, wollen wir für jetzt die Verdünnung nach oben aufser Acht lassen, und die eine dieser Kugeln als *kälter* oder dichter als die benachbarten Theile betrachten, und zwar in einem Theile des Raumes, welcher, ohne sie, ein Feld von überall gleicher Magnetkraft darböte, d. h. von parallelen Linien gleicher Kraftstärke durchschnitten wäre.

2865. Die Luft einer solchen Kugel wird die Fortpflanzung der Magnetkraft durch den von ihr eingenommenen Raum *erleichtern* (2807), so dafs durch diesen Raum mehr Kraftlinien gehen als durch einen gleich grofsen in

Digitized by Google

der umgebenden Atmosphäre (2809). Die Anordnung dieser Linien, bezüglich auf die magnetische Inclination an dem Ort, wird einigermafsen der in Fig. 22 Taf. I. gleichen (2874) und folglich die Kugel polarisirt seyn als ein Leiter (2821. 2822) der paramagnetischen Klasse. Folglich wird sowohl die Stärke als die Richtung der Magnetkraft nicht allein innerhalb, sondern auch aufserhalb der Kugel variiren, und zwar an verschiedenen Orten in entgegengesetzten Richtungen, unter Einflufs von Gesetzen, die ganz regelmäfsig und wohl bekannt sind.

2866. Betrachten wir zunächst die *Intensität*, welche zuvor gleichförmig war (2764). Sieht man die Intensität als den Ausdruck der Kraftmenge (*amoount of force*) an, die durch einen gegebenen Ort geht, dann wird, vermöge der bestimmten Kraftmenge (*amount of power*), welche zu jedem Querschnitt *a a* einer gegebenen Menge von Kraftlinien gehört (2809), eine Concentration dieser Linien, gegen die Mitte *P* hin, bewirken, dafs an dem Theile eine Erhöhung der Intensität, und am anderen Theile, wie *b b*, von dem der Einflufs der Kraft entfernt worden ist, eine Schwächung derselben eintritt. Nimmt man also an, der normale Zustand existire bei *a*, so wird man, wenn man mit einem Intensitäts-Anzeiger von *a* nach *P* fortgeht, allmälig an Stellen *b* und *c* gelangen, wo die Intensität geringer als die normale ist, und diese Stellen können entweder innerhalb oder aufserhalb der Kugel *P* liegen, einzeln oder beide (je nach ihrer Temperatur zur umgebenden Luft, nach ihrer Gröfse und anderen Umständen). Weiterhin wird man Stellen von normaler Intensität antreffen, und noch weiter, bei *P*, Stellen von gröfserer Intensität als der umgebende Raum auswärts; an der entgegengesetzten Seite von *P* würde man entsprechende Variationen in umgekehrter Ordnung antreffen.

2867. Geht man mit dem Intensitäts-Anzeiger aufwärts, in Richtung der magnetischen Neigung, von *e* aus, wo die Intensität als normal betrachtet seyn mag, so kommt man an die Orte *g*, *f*, etc. wo die Intensität zunimmt, bis man *P*

Digitized by Google

erreicht hat, von wo ab dieselbe wieder schwächer wird bis man zu *p* gelangt, wo man wieder die normale antrifft. Bleibt man beim Hinaufgehen nicht auf der *Linie der magnetischen Neigung*, dann wird man natürlich Variationen wie die auf der Linie *aP* durchkreuzen, die an Ausdehnung zunehmen bis die Richtung zusammenfällt mit der gegen die Inclination rechtwinklichen Linie *aP*, auf der sie ein Maximum sind. In unseren Breiten, wo die Neigung fast 70° ist, und unter dem Aequator, wo sie 0° ist, sich durch eine solche kalte Luftkugel erheben, sind also zwei sehr verschiedene Dinge, und dienothwendigen Resultate eines solchen Unterschiedes sollen späterhin nachgewiesen werden.

2868. Allein eine Magnetnadel oder ein Magnetstab ist kein solcher Intensitäts-Anzeiger d. h. er lehrt uns diese Unterschiede entweder nicht oder in umgekehrter Weise kennen. Um diefs zu verstehen, mufs man erwägen, dafs eine Magnetnadel schwingt, indem sie, vermöge ihrer magnetischen Beschaffenheit und Polarität, eine gewisse Menge von Kraftlinien auf sich häuft, welche sonst den umgebenden Raum durchdrungen haben würden; und angenommen, sie erleide durch Temperaturwechsel keine Veränderung, wird sie im Verhältnifs zu den Intensitätsvariationen dieser Linien afficirt werden, sobald alles übrige gleich bleibt. Allein da sie unter den natürlichen Umständen umgeben ist von der Atmosphäre, einem Medium, welches sowohl durch Wärme als durch Verdünnung Variationen in seiner magnetischen Beschaffenheit unterliegt, und durch diese Variationen die Intensität und Quantität der Kraft afficirt, so werden ihre Anzeigen ebenfalls variiren. Wäre sie z. B. in einer grofsen Kugel von Sauerstoff, so wird sie durch ihre Schwingungen oder sonst wie eine gewisse Intensität anzeigen. Wird der Sauerstoff verdünnt, so erwarte ich, wird sie eine höhere Intensität anzeigen, obwohl dieselbe Menge von Kraftlinien (*lines of force and magnetic energy*) durch den Sauerstoff gehen als zuvor. Verdichtet man den Sauerstoff, so wird er ein besserer

Digitized by Google

Leiter, und ich vermuthe, dafs er dann *mehr*, und der Magnet *weniger* Kraft fortführt (*convey onwards*), denn die Kraft würde theilweis von dem unveränderten Magnet auf den verbesserten Leiter der Umgebung übertragen werden.

2869. Mit Sauerstoff können diese Versuche schwerlich anders als mittelst höchst empfindlicher Apparate angestellt werden, aber ähnliche Effecte lassen sich an anderen analogen Fällen experimentell nachweisen. Sey z. B. eine kleine Flintglasröhre von 1 Zoll Länge und 0,5 Zoll im Durchmesser mit gesättigter Eisenvitriollösung gefüllt und mittelst Kokonfäden (2279) horizontal zwischen den Polen eines Elektromagnets aufgehängt, in einem Gefäfse, welches Luft, Wasser oder ein anderes Medium (2406) enthalten mag. In Luft wird sie sich mit einer gewissen Kraft axial stellen und sich wie eine Magnetnadel unter dem Einflufs der Erde verhalten. In Wasser, obwohl es ein schlechterer magnetischer Leiter als die Luft ist, wird sie sich mit gröfserer Kraft einstellen; und gerade weil das Wasser ein sehr schlechter Leiter ist, zeigt der flüssige Magnet eine gröfsere Kraft an. Erhöht man nun das Leitvermögen des umgebenden Mediums durch Zusatz von Eisenvitriol, so verringert sich die Intensitäts-Anzeige der Röhre; sie zeigt erst die frühere Intensität in der Luft an und dann eine geringere, denn sie kehrt mit immer geringerer Kraft in ihre axiale Lage zurück, wenn sie aus derselben abgelenkt wird. So zeigt denn die zum Messen der Intensität oder Magnetkraft (denn für jetzt verstehe ich unter beiden Worten dasselbe) angewandte Magnetnadel gewissermafsen die auf sie selbst geworfene Kraft an und zwar, wie ich schliefse, genau, sobald der magnetische Zustand des umgebenden Mediums unverändert bleibt; allein wenn sie in ein anderes oder veränderndes Medium gebracht wird, so erwarte ich, dafs sie nicht genau die Intensität in demselben, d. h. nicht direct die relativ durch dasselbe gehende Kraftmenge, messen werde. In Luft wird der Unterschied unter verschiedenen Umständen sehr klein seyn; allein gerade dieser Unterschied kommt beim

Digitized by Google

atmosphärischen Magnetismus in Betracht, und es ist sehr wichtig zu wissen, ob, wenn der Magnet eine erhöhte Intensität anzeigt, diese gänzlich von einer wirklichen Verstärkung der Kraft an ihrer Quelle im Erdkörper herrühre oder zum Theil von einer Veränderung der uns bisher unbekannten Beschaffenheit des den Magnet umgebenden Raums.

2870. Unterscheiden wir an dem, was oft unterschiedlos Magnetkraft oder Intensität genannt ist, die *Quantität* von der *Spannung* (*tension*), so werden wir die Sache leichter begreifen. Für jetzt zeigt eine Magnetnadel uns beide als Magnetkraft, keinen Unterschied unter ihnen machend; allein die Effecte derselben auf die Nadel sind oft entgegengesetzten Sinns. Bei ihrer Zu- oder Abnahme afficiren sich freilich die Nadeln gleich; allein es wird angenommen, dafs die Spannung bei gleichbleibender Quantität und die Quantität bei gleichbleibender Spannung sich ändern kann, und dann werden die Angaben der Nadel unsicher. Wächst die Spannung in einer gegebenen Region durch Verminderung des Leitvermögens, so wird die Nadel eine *erhöhte Kraft* anzeigen; wächst sie durch Zunahme der Magnetkraft in der Erde, vermöge eines inneren Vorgangs, so wird die Nadel ebenfalls eine *erhöhte Kraft* anzeigen, und diesen Effect nicht von dem früheren unterscheiden. Vermehrt sich die Quantität in einer Gegend durch Verbesserung des Leitvermögens, so wird die Nadel keine Zunahme anzeigen; im Gegentheil wird sie eine *Abnahme* der Kraft anzeigen, weil die Spannung verringert ist, oder, wenn die Quantität durch Verringerung des Leitvermögens abgenommen hat, wird sie eine *Zunahme* der Kraft anzeigen. Die Kraft könnte selbst in solchem Verhältnisse an Quantität verlieren und an Spannung gewinnen, oder umgekehrt, dafs die Nadel durchaus keine Veränderung anzeigte.

2871. Wenn meine Ansicht richtig ist, so ist der Magnet, wie er bisjetzt angewandt wird, kein vollkommener Messer der erdmagnetischen Kraft, denn diese kann un-

Digitized by Google

verändert bleiben, wenn der Magnet durch den Einfluſs der verschiedenen Zustände des Tages und der Nacht, des Sommers und des Winters, eine Veränderung angiebt. Wie *weit* diese Unsicherheiten in ihren Angaben den Werth der über die horizontalen und verticalen Componenten der erdmagnetischen Kraft gemachten Beobachtungen, als Anzeigen desjenigen, was man von ihnen zu lernen erwartete, afficiren, weiſs ich nicht; allein da diese Angaben zwei sehr verschiedene Dinge einschlieſsen, nämlich Veränderung des Leitvermögens und Veränderung der Kraft an ihrer Quelle, von denen die eine ihren Sitz hauptsächlich in der Atmosphäre und die andere in der Erde hat, so scheint es mir von groſsen Folgen für die Entwicklung der Theorie des Erdmagnetismus zu seyn, daſs man, wo möglich, eine Methode habe, um diese beiden Elemente von einander zu unterscheiden.

2872. Wieder zu dem Beispiel der Kugel (Fig. 22 Taf. I.) (2874) zurückgehend, so scheint mir, daſs ein Magnet, als Intensitäts-Anzeiger gebraucht, bei *P* eher eine kleinere als gröſsere Intensität anzeigen werde, und zwar, weil das Leitvermögen der ganzen Kugel zugenommen hat. Dasselbe wird er, obgleich die scheinbare Abnahme der Intensität hier wahrscheinlich gröſser als anderswo ist, an anderen Orten thun, besonders an denen rechts und links, und selbst bei *b* und *b*, wo die durchgelassene Kraft, statt mehr als bei *P* zu betragen, in der That weniger beträgt als in dem normalen oder gleichmäſsigen Zustand des Magnetfeldes. Eine diamagnetische Luftkugel, d. h. eine wärmere oder verdünntere als der umgebende Raum (2877), ungeachtet sie, als schlechter Leiter, weniger Kraft fortführt, würde bewirken, daſs der Magnet sich mit gröſserer Kraft einstellte und somit eine erhöhte Intensität anzeigte, er mag sich nun innerhalb oder aequatorial auſserhalb der Kugel befinden.

2873. Wenn es wahr ist, daſs die Veränderungen des Mediums (2869) auf den Magnet einwirken, und diese Veränderungen zu einem merklichen Grade in den Gasen ein-

Digitized by Google

einzutreten vermögen, so könnte ein Magnet in Sauerstoff und in Stickstoff, bei gleicher Dichtigkeit beider Gase, eine verschiedene Zahl von Schwingungen in derselben Zeit machen, denn diese Gase sind in ihrem magnetischen Verhalten sehr verschieden. Im Stickstoff würde er die gröfsere Anzahl machen. Vielleicht wäre eine feine Torsionswaage eine empfindlichere Anzeigerinn davon; allein wahrscheinlich müfste der Raum um die Nadel sehr grofs seyn, und es wäre auch nöthig sich zu versichern, dafs die beiden Media der schwingenden Nadel einen gleichen mechanischen Widerstand entgegensetzten.

2874. Auf die *Richtung* der Kraft könnte die Kugel (2864) schief gegen die Horizontal- und Vertical-Ebene einwirken und somit die Declination und die Inclination abändern, einzeln oder zusammen. In einer centralen Linie, parallel der allgemeinen Inclination im umgebenden Raume (Fig. 22 Taf. I.), würde sich die Richtung nicht ändern. Längs einer anderen, auf dieser Linie winkelrecht d. h. aequatorial liegenden Linie aP würde sich auch die Richtung nicht ändern, wohl aber in allen übrigen. So z. B., wenn auf der Linie ir die Nadel von i nach k käme, würde ihr unteres Ende einwärts, gegen die centrale Neigungslinie P geführt werden; dieser Effect würde, nachdem er, vielleicht bei l, sein Maximum erreicht hätte, allmälig wieder bei r zur normalen Neigung zurückgekehrt seyn. Aehnliche Erscheinungen würden jenseits der axialen Linie, pe vorkommen; und wenn man annähme, die Nadel würde in einem Kreise um die axiale Linie pe fortgeführt, so beschriebe sie einen Kegel, dessen Spitze nach unten läge.

2875. Betrachtet man andrerseits die Veränderungen der Inclination unterhalb der Aequatorial-Ebene aP, so findet man sie dort von gleichem Betrage aber umgekehrter Richtung, so dafs die Magnetnadel ihr oberes Ende einwärts oder gegen die axiale Linie pe kehrte und wenn man sie um die axiale Linie herumführte einen Kegel beschriebe, dessen Scheitel oben läge.

2876. So würde also in solcher Luftkugel die Neigung

Digitized by Google

in jedem Azimut variiren, und zwar an den unteren und oberen Theilen dieser Kugel und des benachbarten Raums in entgegengesetzten Richtungen.

2877. Nehmen wir als Vorbild eine andere Luftkugel (2864), eine von höherer Temperatur als die umgebende Atmosphäre, so haben wir einen diamagnetischen Leiter (Fig. 24 Taf. I.), welcher die Fähigkeit besitzt die Intensität und Richtung der Kraftlinien in umgekehrter Weise wie die frühere Kugel (Fig. 23) abzuändern. Was, in Folge ihres Einflusses auf die Richtung der Kraftlinien, die Wirkung dieser Kugeln auf eine in ihren Bereich kommende Magnetnadel betrifft, so kann sie zum Theil repräsentirt werden durch einen Magnet, der für die kalte Kugel gleiche, und für die warme Kugel entgegengesetzte Lage mit der Nadel hat. Allein da die Kraftlinien des combinirten Systems der Erde und eines solchen Magnets in ihrer Anordnung sehr verschieden sind von den Kraftlinien der Erde, wie sie durch die, blofse Leitungspolarität (2820) besitzenden, kalten und warmen Luftmassen afficirt werden, so würde es zuviel gesagt seyn, dafs sie einander entsprächen oder ihre Effecte auf Intensität und Richtung dieselben wären für gleichen Abstand vom Mittelpunkt der Luftkugel und des stellvertretenden Magnets.

(Schlufs im nächsten Heft.)

VI. *Bemerkungen über einige physische Eigenschaften der Körper; von J. A. Groshans.*

Ein Kubikcentimeter flüssigen Wassers bei 100° C. nimmt im Dampfzustande bei 100° C. und $0^m,76$ einen Raum von 1624 Kubikcentimetern ein. Die Dichtigkeit des flüssigen Wassers verhält sich also zu der des Wasserdampfs wie 1624 : 1.

Nennt man *Expansion* das Verhältnifs der Dichtigkeiten eines selben Körpers im flüssigen und dampfförmigen Zu-

Digitized by Google

stande, beim Siedpunkt und bei der Spannung 0m,76, so kann man dieselbe berechnen durch die Formel:

$$\text{Exp.} = \frac{qD}{d} \times \frac{273{,}2+E}{273{,}2},$$

wo Exp. die Expansion, D die Dichtigkeit des Körpers im flüssigen Zustande beim Siedpunkt, d die Dichte des Dampfs bei 0° und 0m,76, gegen die vom Sauerstoff = 1, E der Siedpunkt, q das Verhältnifs der Dichtigkeit des flüssigen Wassers bei 0° C. und des Sauerstoffs bei 0° C. und 0m,76, ein Verhältnifs, das, da ein Liter Sauerstoff, nach Regnault, 1gm,4298 wiegt, gleich ist $\frac{1000}{1{,}4298} = 699{,}4$.

Ich habe *Exp.* für einige Körper berechnet und die Resultate in folgenden zwei Tafeln zusammengestellt.

Tabelle I.

Körper.	Zusammensetzung.	Atomgewichte	*d.*	*D.*	*E.*	Exp.
Chloraethyl	$C_4 H_{10} Cl$	806,25	2,0156	0,9058	11°,0	327,0
Bromaethyl	$C_4 H_{10} Br$	1302,50	3,4062	1,3912	40 ,7	328,2
Jodaethyl	$C_4 H_{10} J$	1921,25	4,8781	1,815	70 ,0	327,9
Brommethyl	$C_2 H_6 Br$	1187,50	2,9687	1,6331	13 ,0	403,0
Jodmethyl	$C_2 H_6 J$	1776,25	4,4406	2,078	43 ,8	379,7
Chloraelayl	$C_4 H_8 Cl_2$	1237,50	3,0937	1,1553	85 ,0	342,4
Bromaelayl	$C_4 H_8 Br_2$	2350	5,8750	1,923	132 ,6	340,0
Chlorphosphor	$P Cl_3$	1731,25	4,3281	1,466	78 ,3	304,8
Bromphosphor	$P Br_3$	3400	8,5 ?	2,493	175 ,3	336,7
Chlorsilicium	$Si Cl_3$	1597,50	5,3250	1,394	59 ,0	222,6
Bromsilicium	$Si Br_3$	3266,25	10,8875 ?	2,414	153 ,4	242,1

Digitized by Google

Tafel II.

Körper.	Zusammensetzung.	Atomgewichte.	Siedpunkte.	Dampfdichte bei 0° C. u. 0m,76.	Dampfdichte bei *E* u. 0m,76.	Spec. Gewicht der Flüssigkeiten bei 0° C.	Spec. Gewicht der Flüssigkeiten bei *E*.	Aequivalentvolume der Flüssigk.	Expansion.
Aether	$C_4 H_{10} O$	462,5	35,5	2,31	2,0466	0,7358	0,6952	665,3	237,6
Bromaethyl	$C_4 H_{10} Br$	1362,5	40,7	3,40	2,9646	1,4733	1,3912	979,3	328,2
Jodmethyl	$C_2 H_6 J$	1776,25	43,8	4,44	3,8270	2,1992	2,0780	854,8	374,7
Chlorsilicium	$Si Cl_3$	1597,50	59,0	5,32	4,4073	1,5237	1,394	1146	222,6
Brom	Br	1000	63,0	5	4,0631	3,1872	2,969	336,8	511,6
Chloroform	$C_2 H_2 Cl_3$	1493,75	63,5	—	—	1,5252	1,4072	1061	—
Holzgeist	$C_2 H_4 O_2$	400	66,3	1	0,8047	0,8270	0,7544	530,2	655,7
Jodaethyl	$C_4 H_{10} J$	1951,25	70,0	4,87	3,8832	1,9755	1,815	1075	327.9
Essigäther	$C_8 H_{16} O_4$	1100	74,1	2,75	2,1634	0,9069	0,8170	1346	264,9
Dopp. gechlortes Aethylchlorür	$C_4 H_8 Cl_3$	1668,75	74,9	—	—	1,3465	1,2176	1370	—
Kohlenstoffsuperchlorid	$C_2 Cl_4$	1925	78,1	4,81	3,7443	1,6298	1,4758	1304	375,8
Chlorphosphor	$P Cl_3$	1731,25	78,3	4,32	3,3639	1,6162	1,466	1181	304,8
Alkohol	$C_4 H_{12} O_2$	575	78,3	1,43	1,1179	0,8151	0,7453	771,5	468,2
Kohlenchlorid	$C_2 Cl_4$	2075	123,9	5,18	3,5690	1,6490	—	—	—
Fuselalkohol	$C_{10} H_{24} O_2$	1100	131,8	—	—	0,8271	0,7172	1534	—
Bromaelayl	$C_4 H_6 Br_2$	2350	132,6	5,87	3,9554	2,1629[1])	1,923	1222	340,0
Methylsulfocyanur	$C_2 H_6 Cy S_2$	912,5	132,8	—	—	1,0879	—	—	—
Chlorarsen	$As Cl_3$	2268,25	133,8	5,67	3,8065	2,2050	1,914	1185	351,7
Dreimal gechlorte holländische Flüssigkeit	$C_4 H_2 Cl_3$	2531,25	153,8	6,32	4,0490	1,6627[2])	—	—	—
Schwefligsaures Aethyloxyd	$C_4 H_{10} O, SO_2$	862,5	160,3	—	—	1,1063	0,9271	927,1	—

1) Bei 20°. 2) Sehr nahe $= \frac{3}{2} \times 1{,}1063$.

Digitized by Google

Die erste Tafel enthält fünf Gruppen von Körpern, und in jeder Gruppe finden sich zwei oder drei Körper von *analoger Zusammensetzung;* so nenne ich vorläufig *Körper, in welchen n Atome Chlor ersetzt sind durch n Atome Brom oder Jod.*

Die zweite Tafel entält sieben Gruppen von Körpern, und in jeder Gruppe finden sich einige Körper, deren Siedpunkte gleich oder wenig verschieden sind, und welche ich deshalb *isopeptische* Körper nenne.

Was die Zusammensetzung dieser beiden Tafeln betrifft, so bemerke ich:

1. Dafs alle Angaben über die Siedpunkte und specifischen Gewichte, ohne Ausnahme, von den Versuchen des Hrn. Pierre entlehnt sind.

2. Dafs die Dichtigkeiten der Dämpfe bei 0° und 0^{m},76 aus den allgemein angenommenen Atomgewichten berechnet sind, wenn der Versuch überdiefs wenig verschiedene Zahlen gegeben hatte.

3. Dafs diese Dichtigkeiten für zwei in der ersten Tafel enthaltene Körper, Bromphosphor und Bromsilicium, hypothetisch sind, da für diese Körper der Versuch noch nicht gemacht ist. Ich habe vorausgesetzt, dafs die Dampfdichte diese Bromverbindungen auf gleiche Weise wie die durch den Versuch schon bestimmte Dampfdichte der analogen Chlorverbindungen berechnet werden könnte.

Die erste Tafel zeigt, dafs die Expansion eine Tendenz hat, bei allen Körpern einer selben Gruppe gleich zu seyn. Bei der Gruppe der Aethyle und Aelayle ist diese Gleichheit fast vollkommen. Die Expansionen der zweiten, vierten und fünften Gruppe verhalten sich wie 1,06, 1,10 und 1,09. Fernere Versuche werden diese Verhältnisse vielleicht der Einheit nähern.

Die Dichtigkeiten der drei Aethyle (im flüssigen Zustand und bei den Siedpunkten) verhalten sich wie 2, 3 und 4. Diese Verhältnisse können auf den ersten Blick zufällig erscheinen; indefs trifft man sie in derselben Ord-

Digitized by Google

nung bei einigen anderen Gruppen an. Ich habe diese Verhältnisse in folgender Tafel zusammengestellt:

Körper.	Dampfdichte bei E und $0^m,76$ $O=1$.	Verhältnisse.	Dichte der Flüssigkeiten bei E.	Verhältnisse.
Chloraethyl	1,9376	2	0,9058	2
Bromaethyl	2,9646	3,06	1,3912	3,07
Jodaethyl	3,8832	4,00	1,815	4,00
Brommethyl	2,8339	3	1,6331	3
Jodmethyl	3,8270	4,05	2,078	3,81
Chloraelayl	2,3596	2	1,1553	2
Bromaelayl	3,9554	3,34	1,923	3,33
Chlorphosphor	3,3639	2	1,466	2
Bromphosphor	5,1778	3,08	2,493	3,10
Chlorsilicium	4,4073	2	1,394	2
Bromsilicium	6,9942	3,18	2,414	3,46

Für die Aelayle ist diefs Verhältnifs $= 3:5$.

Eine analoge Zusammensetzung bei einer Gruppe von Körpern scheint demnach die Gleichheit der Expansion oder das Daseyn gewisser einfacher Verhältnisse zwischen den Dichtigkeiten der Dämpfe und der Flüssigkeiten bei den Siedpunkten nach sich zu ziehen oder wenigstens zu begünstigen.

Die zweite Tafel zeigt, dafs die Gleichheit (oder Fast-Gleichheit) der Siedpunkte zweier oder mehrer Körper die Gleicheit der Dichtigkeiten von Dämpfen und Flüssigkeiten (bei allen *gleichen* Temperaturen) oder die Existenz von einfachen Verhältnissen zwischen diesen Dichtigkeiten begünstigt. Zuweilen sind auch einfache Verhältnisse zwischen den Atomgewichten vorhanden. So z. B. verhalten sich die Atomgewichte des Chlorphosphors und Alkohols wie 1:3,01; dasselbe Verhältnifs existirt zwischen den Dichtigkeiten der Dämpfe, während die Dichtigkeiten der Flüssigkeiten im Verhältnifs 2:1 stehen. Die Expansionen verhalten sich offenbar wie 2:3 [1]).

1) Die specifischen Gewichte sind, nach Andrews, 0,209 und 0,617, welche sich verhalten wie 1:2,90. Die latenten Wärmen beider Dämpfe

Digitized by Google

Bildet man Gruppen von Körpern, deren Dichtigkeiten, im flüssigen Zustande, für gleich erachtet werden können, so bemerkt man fast immer, dafs die Körper einer und derselben Gruppe auch noch andere Eigenschaften gemein haben.

So z. B. ist das specifische Gewicht des Bromaethyls 1,3912, das des Chloroforms 1,4072. Die Expansion des ersteren Körpers ist 328,2, die des letzteren berechnet sich zu 324,9, wenn man annimmt, die Dampfdichte bei 0° C. sey $\frac{14,93}{4} = 3,73..$ (wo 14,93 das Atomgewicht). Hier ist also Gleichheit zwischen Dichtigkeit und Expansion.

Die sechste Gruppe der zweiten Tafel enthält zwei Körper, Bromaelayl und Chlorarsen, deren specifische Gewichte, Siedpunkte und Expansionen gleich sind.

Die dritte Gruppe dieser Tafel enthält zwei Körper, deren Atomgewichte in demselben Verhältnisse (2 : 3,03) stehen wie die Dichtigkeiten der Flüssigkeiten. Die Siedpunkte sind gleich und es läfst sich vermuthen, dafs die Expansionen es ebenfalls seyen.

Die vier Eigenschaften, nämlich:

1) Gleichheit der Expansionen,
2) Gleichheit der Siedpunkte,
3) Gleichheit der specifischen Gewichte als Flüssigkeiten oder Daseyn einfacher Verhältnisse zwischen diesen specifischen Gewichten,
4) Analogie der Zusammensetzung,

scheinen also von einander abzuhängen in der Weise, dafs eine von ihnen das Vorkommen einer oder mehrer der anderen begünstigt.

Es giebt indefs Körper, die nur eine einzige dieser Eigenschaften besitzen z. B.

		Atomgew.	*d.*	*D.*	*E.*	Exp.
Zinnchlorid	$SnCl_2$	1612,5	8,06	115,4	1,965	242,5
Aether	$C_4H_{10}O$	462,5	2,31	35,5	0,6952	237,6.

sind, nach demselben Beobachter, 51,41 und 202,4, deren Verhältnifs 1 : 3,89 ist.

Digitized by Google

Diese beiden Körper haben eine gleiche Expansion, defsungeachtet sind sie nicht mehr isopeptisch. Ihre Zusammensetzung bietet keine Analogie dar und das Verhältnifs der specifischen Gewichte ist 2,82 : 1. Man müfste in dem Versuch einen grofsen Fehler voraussetzen, damit diefs Verhältnifs $= 3 : 1$ seyn könnte.

Klar ist, dafs sowohl die gasigen als flüssigen Volume der Körper, deren Expansionen gleich sind, bei allen entsprechenden Temperaturen in gleichem Verhältnifs bleiben. Wenn also die Volume der Dämpfe zweier Körper von gleicher Expansion und den Siedpunkten E und e gleich sind bei 0° C. und $0^m,76$, so werden dieselben bei den Siedpunkten gleich $(1+Ec)$ und $(1+ec)$ seyn, wo c der Ausdehnungscoëfficient der Dämpfe ist. Bei zwei Temperaturen T und t werden diese Volume seyn $(1+Tc)$ und $(1+tc)$, und so wird man die Proportion bilden können:

$$(1+Ec):(1+ec)=(1+Tc):(1+tc) \quad . \quad . \quad . \quad (\alpha).$$

Nimmt man für einen dieser Körper das Wasser und ändert e in 100° C. um, so kann die Formel dazu dienen für einen Körper, dessen Spannung bei irgend einer Temperatur beobachtet ist, den Siedpunkt zu finden oder im Allgemeinen entsprechende Temperaturen zu bestimmen. Diese Formel, welche ich in diesen Annalen Bd. 78 S. 112, mitgetheilt habe, ist also, in der allgemeinen Form (α), nothwendig auf alle Körper von gleicher Expansion anwendbar; allein ich habe auch in diesen Annalen Bd. 79 S. 290 gesagt, dafs sie noch anwendbar sey auf Wasser, Alkohol und Aether, dessen Expansionen sind: 1624, 468 und 237. Wahrscheinlich wird sie also für alle Körper gültig seyn.

Das Quecksilber hat eine doppelt so grofse Expansion wie das Wasser; diefs geht aus folgenden Angaben hervor

	Atomgew.	d.	D.	E.		Exp.
Quecksilber	1250	6,28	350	12,758	(Regn.)	3256
Wasser	112,5	0,5625	100	0,9588	(Kopp)	1624.

Digitized by Google

Nimmt man den Siedpunkt des Quecksilbers zu 348,8 an [1]), so verhalten sich die Gasvolume beider Körper wie 5:3; die flüssigen Volume stehen im Verhältnifs 5:6. Ueberhaupt bemerkt man beim Studium der physischen Eigenschaften der Körper viele, mehr oder weniger einfache Verhältnisse zwischen den Zahlen, welche das Maafs dieser Eigenschaften geben. Da alle diese Zahlen mit gewissen Beobachtungsfehlern behaftet sind, welche sie vergröfsern oder verringern können, so kann man sich irren, wenn man zufällige Uebereinstimmungen für einfache Verhältnisse nimmt. Es giebt also *wahrhafte* und *scheinbare* Verhältnisse. Die ersteren unterscheiden sich indefs bald von den letzteren dadurch, dafs sie häufiger und in einer gewissen Ordnung vorkommen und mit anderen gemeinschaftlichen Eigenschaften der Körper in Analogie stehen.

Rotterdam, den 23. September 1850.

VII. *Versuche über die thermo-elektrische Kraft des krystallisirten Wismuths und Antimons;* von *J. Svanberg.*

(Aus einer Note an Hrn. Regnault in d. *Compt. rend. T. XXXI. p.* 250.)

Seit einiger Zeit hat die Beobachtung gewisser Thatsachen, deren Anführung hier überflüssig seyn würde, mich zu der Vermuthung geführt, dafs die thermo-elektrische Kraft der Metalle wohl von einer Verschiedenheit ihres elektrischen Leitvermögens abhängen möge. Ueberdiefs wurde ich zu glauben veranlafst, dafs dieses Leitvermögen verschieden seyn müsse mit der Richtung in krystallisirtem Wismuth und Antimon, weil die Krystallform dieser Metalle, nach den neueren Untersuchungen der HH. Faraday und G.

1) Durch Druckfehler steht in diesen Annalen (Bd. 80, S. 297) 384 statt 348.

Digitized by Google

Rose, nicht dem regelmäfsigen Systeme angehört. Das bewog mich zu untersuchen, ob die thermo-elektrische Kraft dieser beiden Metalle verschieden sey nach der Richtung. Diese Vermuthung hat sich vollkommen bestätigt durch die Versuche, welche ich beschreiben will.

In grofsen Wismuth- oder Antimonmassen ist das krystallinische Gefüge niemals überall dasselbe; aber es hält nicht schwer, darin homogene Theile zu finden. Man kann Stäbchen heraus sägen, die gegen die Krystallisationsebenen verschiedentlich geneigt sind.

Unter den Spaltungsebenen dieser beiden Metalle im krystallisirten Zustande giebt es eine, welche sich, wie Hr. Faraday zuerst bemerkt hat, von den übrigen durch gröfseren Glanz unterscheidet. Diese Ebene ist winkelrecht gegen die Hauptaxe der Krystallisation. Unter den übrigen Spaltungsebenen giebt es eine, die der eben genannten an Glanz wenig nachsteht. Ich will die Stäbe, deren Länge mit dem Durchschnitt dieser beiden Ebenen zusammenfällt, *A* nennen, und die Stäbe, deren Länge winkelrecht ist auf der Spaltung mit dem gröfsten Glanz, mit *B* bezeichnen.

Antimon und Wismuth haben nun das gemein, dafs die Stäbe *A* positiver, und die Stäbe *B* negativer in der thermo-elektrischen Reihe sind, als jeder andere aus demselben Metall geschnittene Stab. Die thermo-elektrische Kraft zwischen dem Antimon *A* und dem Antimon *B*, oder zwischen dem Wismuth *A* und dem Wismuth *B* ist ziemlich bedeutend. Nimmt man einen zwischen *A* und *B* liegenden Stab d. h. einen solchen, dessen Länge anders gegen die Spaltungsebene geneigt ist, oder der kein regelmäfsiges Krystallgefüge hat, so findet er sich negativ gegen *A* und positiv gegen *B*.

Wie man sieht fällt die Längenrichtung *B* zusammen mit der Magnekrystallaxe des Hrn. Faraday, was für alle angewandten Stäbe untersucht und bestätigt worden ist. Diese Axe nahm beim Wismuth die axiale, und beim Antimon die aequatoriale Lage an, was mit den Beobachtungen des Hrn. Plücker übereinstimmt.

Digitized by Google

Diese Verschiedenheit der thermo-elektrischen Kraft des Wismuths und Antimons scheint den Schlüssel zu liefern zur Erklärung der Ströme, welche die HH. Sturgeon und Matteucci in Ketten aus einem einzigen dieser Metalle beobachtet haben. Dieselben waren bisher unerklärlich.

Was die Richtung der thermo-elektrischen Ströme zwischen heifsem und kaltem Wismuth oder heifsem und kaltem Antimon betrifft, so sind verschiedene Experimentatoren zu verschiedenen Resultaten gelangt. Vorsselman de Heer, der Letzte, der sich damit beschäftigte, sah den Strom bisweilen vom kalten zum warmen, bisweilen vom warmen zum kalten Metall gehen. Er glaubte, nach seinen Beobachtungen, dafs die Richtung des Stroms von mehr oder weniger grofsem Unterschiede in den Temperaturen beider Stäbe abhänge. Besonders beim Antimon, sagt er, habe er oft eine solche Umkehrung beobachtet.

Sollen dergleichen Versuche irgend Werth haben, ist es durchaus nothwendig, dafs die Stäbe, mit denen man operirt, einen gleichen Platz in der thermo-elektrischen Reihe einnehmen. So z. B. mufs man *A* mit *A*, und *B* mit *B* vergleichen, aber nicht *A* mit *B*. Man mufs also zuvor untersucht haben, ob beide Stäbe durchaus homogen seyen. Sehr merkwürdig ist, dafs *A* sich zu *A* nicht so verhält wie *B* zu *B*.

Mein Experimentirverfahren ist folgendes. Die beiden Stäbe waren befestigt an kupfernen Handhaben, welche durch gleichfalls kupferne Drähte mit einem sehr empfindlichen Galvanometer verknüpft waren. Von den Berührungspunkten mit dem Kupfer an, waren die Stäbe, fast bis zu ihrem freien Ende, mit Schnee umhüllt; auf diese Weise konnte kein Strom entstehen, wenn man die Enden in Contact setzte und ihnen irgend eine höhere Temperatur gab. Dieſs ist das Mittel, sich zu überzeugen, dafs die Stäbe thermo-elektrisch homogen sind. Wenn man aber, bevor man sie in Berührung setzt, das Ende blofs eines der Stäbe auch nur wenig erhitzt oder erkältet, so entsteht

Digitized by Google

ein Strom, dessen Richtung das Galvanometer angiebt. Sind die beiden Stäbe von Wismuth *A* oder von Antimon *A*, so geht der Strom vom kalten zum warmen Metall; operirt man aber mit Stäben *B*, so ist die Richtung umgekehrt d. h. der Strom geht vom heifsen zum kalten Metall.

Dieser Unterschied scheint mir sehr merkwürdig, allein ich habe ihn durch vielfältige Versuche mit verschiedenen Stäben bestätigt. Bei meinem Verfahren habe ich durch Steigerung des Temperatur-Unterschiedes zwischen den beiden Enden niemals eine Umkehrung des Stromes beobachten können.

Für kleine Temperatur-Unterschiede hat Vorsselman de Heer beim Antimon gefunden, dafs der Strom vom heifsen Metall zum kalten geht. Die umgekehrte Richtung, welche ich beim Antimon *A* gefunden, läfst sich nicht erklären durch eine kleine Temperatur-Erhöhung, welche sich etwa vom heifsen Ende dem Vereinigungspunkt mit dem Kupfer mitgetheilt hätte; denn es ist leicht zu ersehen, dafs eine solche Erhitzung gerade den umgekehrten Effect bewirkt haben würde. Allein es ist sehr möglich, dafs Vorsselman de Heer, durch eine leicht zu entschuldigende Unachtsamkeit, mit thermo-elektrisch heterogenen Stäben experimentirte, weil die Beziehung der thermo-elektrischen Kraft und der Richtung des Stroms zu den Krystallisationsebenen, damals noch nicht bekannt war.

Beim Wismuth *A* habe ich, wie die Physiker vor mir, gefunden, dafs der Strom vom heifsen Metall zum kalten geht. Die umgekehrte Richtung, die ich beim Wismuth *B* beobachtet habe, kann also nicht erklärt werden durch eine kleine Temperatur-Erhöhung, die sich vom erhitzten Ende dem Verbindungspunkt mit dem Kupfer mitgetheilt hätte, weil daraus gerade der entgegengesetzte Effect entstanden seyn würde.

Digitized by Google

VIII. *Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls in Eisen; von HH. Wertheim und Breguet.*

(*Compt. rend. T. XXXI. p.* 293.)

Jedermann kennt die Versuche, durch welche Hr. Biot die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in Gufseisen direct bestimmt hat. Bei Benutzung einer Länge von 951 Metern fand er die Geschwindigkeit im Gufseisen = 10,5 gegen die der Luft zur Einheit angenommen; wogegen die theoretische Geschwindigkeit = 12,2 ist, wenn man für das Gufseisen einen mittleren Elasticitäts-Coëfficienten von 12000 annimmt.

Es schien uns nützlich diese Frage, bei Benutzung grofser Längen von eisernen Telegraphendrähten wieder aufzunehmen. Schon bei unseren ersten Versuchen, die im Laufe dieses Sommers (1850) unternommen wurden, hatten wir gesehen, dafs selbst schwache Töne sich in grofse Fernen fortpflanzen; allein es bedurfte vieler Versuche, um die zweckmäfsigste Telegraphenlinie aufzufinden, die beste Entfernung zweier Beobachter und die beste Erschütterungsweise auszumitteln; so wie alle auf die Resultate etwa einwirkenden Fehlerquellen zu entfernen. Unsere definitiven Versuche wurden auf der Versailler Linie (rechtes Seine-Ufer) angestellt. Auf dieser Linie sind die Drähte stark gespannt und von nicht hohen Pfosten getragen, was den doppelten Vortheil darbietet, dafs man ihnen das Ohr nähern, und sich fast gegen den Wind schützen kann; auch wird man nicht durch das Rauschen gestört, welches der Wind beständig auf anderen Linien hervorbringt.

Als Signal ist ein Schlag mit einem Hammer auf einen der spannenden Pfosten allen anderen Erschütterungsweisen vorzuziehen, denn er bewirkt einen instantanen Stofs, welcher sich lediglich durch den Draht fortpflanzt, ohne sich in die Luft zu verbreiten, was weder bei einem Pistolenschufs, noch bei den Tönen des *Tam-tams* oder der Stimm-

Digitized by Google

gabel der Fall ist, wie stark letztere auch mit den Drähten verbunden seyn mögen.

Wir haben nur eine Entfernung von 4050 Meter benutzt, obwohl die Stöfse, nach ihrer Stärke an beiden Enden dieser Strecke zu urtheilen, sich hätten noch durch weit gröfsere Abstände fortpflanzen können, wenn nicht die Tunnels ein unübersteigliches Hindernifs dargeboten hätten. Allein der Ton war niemals jenseits des ersten Tunnels hörbar, selbst wenn wir einen dicken Eisendraht anwandten, der nirgends die Mauer direct berührte.

Mit Berücksichtigung dreier Correctionen wegen der Krümmung des Drahtes, der ungleichen Höhe der Pfosten und der Holzdicke, welche der Stofs zu durchlaufen genöthigt war, betrug die wahre Drahtlänge zwischen den beiden Enden 4067,2 Meter.

An beiden Enden der Linie stehend, hatten wir jeder einen Gehülfen bei uns. Jeder von uns hielt in der Hand einen Punktir-Chronometer (*chronomètre à pointage*), der von Einem unter uns verfertigt war und Zehntel-Sekunden mit Sicherheit zu schätzen erlaubte; unsere Gehülfen hatten Chronometer von stetem Gange, die wohl regulirt waren und fünf Schläge in zwei Sekunden machten.

Gesetzt die Versuche begännen auf der Station Asnières. Der erste Gehülfe gab zu einer voraus bestimmten Sekunde einen Hammerschlag. Der neben ihm stehende Beobachter kehrte ihm den Rücken zu, so dafs er den Schlag nur in dem Moment punktirte, wo er ihn wirklich hörte. Der andere Beobachter, der sich am Eingange des Tunnels zu Puteaux befand, markirte den Augenblick der Ankunft und liefs eine halbe Minute verstreichen, ehe er den Schlag zurücksandte, dessen Ankunft vom ersten Beobachter punktirt ward.

Auf diese Weise verdoppelte man die Länge, befreite sich vom individuellen Irrthum und eliminirte hierauf den aus einem Gang-Unterschied beider Chronometer entspringenden Fehler dadurch, dafs man das Mittel nahm aus zwei Versuchen, bei deren einem der Stofs von Anières ausge-

Digitized by Google

gangen war, bei dem anderen aber ebenso von Puteaux und zurück. Auf diese Weise haben wir zwei oder drei Doppelläufe benutzt.

Diese Versuche gaben im Mittel eine Geschwindigkeit von 3485 Meter in der Sekunde, während 2 Meter desselben Drahts, auf dem Sonometer ausgespannt, einen Ton von 2317 Schwingungen machten, woraus sich die Geschwindigkeit zu 4634 Meter ergiebt.

Die lineare Geschwindigkeit im Eisen ist also nach directem Versuch kleiner nicht allein als die theoretische Geschwindigkeit, sondern auch als die aus dem Chladni'schen Verfahren hergeleitete. Der Unterschied liegt in gleichem Sinn und ist gröfser noch als der, welcher aus Hrn Biot's Versuch mit Gufseisen hervorgeht. Wir begnügen uns für jetzt diefs Resultat anzugeben, behalten uns aber vor, darauf zurückzukommen, wenn wir gröfsere Längen oder andere Metalle als Eisen werden benutzt haben können.

IX. *Aeltere Beobachtungen über den Gang des Pendels, gemacht von den Mitgliedern der Accademia del Cimento.*

Hr. Antinori, Director des Museums für Physik und Naturgeschichte in Florenz, ist durch Hrn. Foucault's sinnreichen Beweis von der Axendrehung der Erde (Ann. Bd. 82, S. 458) veranlafst worden, nach zu sehen, ob unter den zahlreichen Versuchen, welche die Mitglieder der Accademia del Cimento mit dem Pendel anstellten, einige wären, die mit dem des Hrn. Foucault's Analogie hätten. Er glaubt wirklich dergleichen aufgefunden zu haben und theilt die Documente darüber in den *Compt. rend. T. XXXII, p.* 635 mit. Es sind ihrer drei:

1. Aus den ungedruckten Handschriften Viviani's folgende Note: »*Osservammo che tutti i Penduli da un sol*

Digitized by Google

filo deviano dal primo verticale e sempre per il medesimo verso, civè secondo le linee AB, CD, EF etc. [1]) *da destra verso sinistra delle parti anteriori.«*

2. Aus den *Saggi di Naturali Esperienze etc.: »Ma perchè l'ordinario pendolo a un sol filo in quella sua libertà di vagare (qualunque ne sia la cagione) insensibilmente va traviando dalla prima sua gita, e verso'l fine, secondo ch'ei s'avvicina alla quiete, il suo movimento non è piu per un arco verticale, ma par fatto per una spirale ovata in cui più non posson distinguersi nè noverarsi le vibrazioni, quindi è che, solamente a fine di fargli tener fin all'ultimo l'istesso cammino, sie pensò di appender la palla a un fil doppio.«*

3. Aus Targioni's *Notizie degli Aggrandimenti delle Scienze fisiche in Toscana (T. II. pt. II. p.* 669): — *»A dì* 28. *Nov.* 1661. *Ricevuta la punta d'un d'ondolo attacato ad un filo solo, quando comincia a inlanguidirsi il suo moto, che lasciato di vibrare và in spire, sopra polvere di marmo vi disegna il suo viaggio, che è una spirale ovata, che sempre và restringendosi verso il centro.«*

1) Einer beigefügten Figur zufolge, sind diese Linien die successiven Lagen eines Kreisdurchmessers, der um den Mittelpunkt schraubenrechts gedreht würde. P.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. III. ERGÄNZUNG. St. 2.

I. *Ueber den Humit und den Olivin des Monte Somma von Arcangelo Scacchi in Neapel* [1]).

Die krystallographische Eigenthümlichkeit des Humites hatte seit langer Zeit meine Aufmerksamkeit erregt, und die hier mitgetheilten Thatsachen verbreiten weniger über seine mineralogischen Verhältnisse neues Licht als über die Lehre von der Molecularphysik der Körper *(fisica costituzione moleculare dei corpi)*.

Aus später darzulegenden Gründen geht hervor, dafs die Humitkrystalle zum System des rectangulären Prismas gehören. Sie bieten die merkwürdige Thatsache dar, dafs sie drei Typen von Formen zeigen und dafs jeder dieser Typen durch bestimmte Flächen ausgezeichnet ist, die fast alle von denen der andern Typen verschieden sind. Zu dieser Thatsache kommt ein Verhältnifs, das sie viel wichtiger macht, als sie anfangs erscheinen könnte. Es lassen sich nämlich die wenn auch sehr zahlreichen Flächen der zu einem und demselben Typus gehörenden Krystalle durch *sehr einfache* Gesetze aus einem bestimmten Längenverhältnifs der Axen der Grundform ableiten. Diefs ist aber nicht der Fall bei den Flächen der Krystalle von verschiedenem Typus, die sich von derselben Grundform nur durch mehr oder weniger verwickelte Gesetze ableiten lassen. Anfangs glaubte ich in den Humitkrystallen drei verschiedene Mineralspecies vor mir zu haben; allein später habe ich diese Ansicht verlassen oder vielmehr ich glaube, dafs alle Humitkrystalle zu derselben Mineralspecies gerechnet werden

1) Aus der Handschrift des Verfassers übersetzt von Hrn. Dr. Roth. P.

Digitized by Google

können, in dem Sinne wie dieser Begriff allgemein von den Mineralogen gebraucht wird.

Vor der Betrachtung der charakteristischen Verschiedenheiten, welche die Typen der Humitkrystalle darbieten, wird es gut sein, einen Blick auf die Zusammenstellung der goniometrischen Messungen und auf Taf. II. Fig. 1, 2 u. 3 zu werfen, welche verticale Projectionen der vollständigen Krystalle jedes Typus darstellen.

Digitized by Google

Goniometrische Messungen der Humitkrystalle.

Gemessene Winkel.				Berechnete Winkel.					
				Vorausgesetzt, daß das Axenverhältniß der Krystalle der verschiedenen Typen verschieden ist.	Vorausgesetzt, daß das Axenverhältniß der Krystalle der verschiedenen Typen dasselbe ist.	Von Phillips gemessene Winkel.	Von Marignac gemessene Winkel.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniß der Krystalle von verschiedenem Typus verschieden ist.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniß der Krystalle von verschiedenem Typus dasselbe ist.
Fig. 1	A gegen	B =	90° 0′	90° 0′	90° 0′	—	—	—	—
Fig. 2, 3	A „	C =	90 0′	90 0′	90 0′	—	143° 25′	—	—
Fig. 3	A „	e =	143 15′	143 10′,0	143 10′,6	143° 20′		von e . a, $7b$, $8c$	a, $7b$, $8c$
Fig. 1	A „	e =	140 47′	140 48′,6	140 48′,6	140 56′	—	„ e . a, $5b$, $8c$	a, $5b$, $8c$
Fig. 2	A „	e =	135 58′	135 53′,0	135 51′,4	—	136 1′	„ e . a, $3b$, $8c$	a, $3b$, $8c$
Fig. 1	A „	e^2 =	134 30′	134 27′,5	134 27′,5	—	134 40′	„ e^2 . a, $4b$, $8c$	a, $4b$, $8c$
Fig. 3	A „	e^2 =	133 44′	133 38′,5	133 39′,1	133 36′	133 45′	„ e^2 . a, $5b$, $8c$	a, $5b$, $8c$
Fig. 1	A „	e^3 =	126 17′	126 21′,0	126 21′,0	—	126 20′	„ e^3 . a, $3b$, $8c$	a, $3b$, $8c$
Fig. 3	A „	e^3 =	119 50′	119 46′,7	119 47′,3	120 0′	119 50′	„ e^3 . a, $3b$, $8c$	a, $3b$, $8c$
Fig. 1	A „	e^4 =	116 13′	116 8′,0	116 8′,0	115 15′?	116 11′	„ e^4 . a, $2b$, $8c$	a, $2b$, $8c$
Fig. 2	A „	e^3 =	108 58′,3	108 57′,3	108 58′,3	—	109 0′	„ e^3 . a, b, $8c$	a, b, $8c$
Fig. 1	A „	e^5 =	103 47′	103 47′,0	103 47′,0	103 40′	103 45′	„ e^5 . a, b, $8c$	a, b, $8c$
Fig. 3	A „	e^4 =	100 47′,9	100 47′,9	100 48′,1	100 40′	101 0′	„ e^4 . a, b, $8c$	a, b, $8c$
Fig. 1	A „	e =	138 41′	138 37′,8	138 37′,8	—	139 0′	„ e . a, ∞b, $5c$	a, ∞b, $5c$
Fig. 3	A „	e =	136 35′	136 38′,2	136 39′,8	135 50′	136 40′	„ e . a, ∞b, $6c$	a, ∞b, $6c$
Fig. 3	A „	e^3 =	125 13′	125 13′,0	125 14′,5	125 59′	—	„ e^3 . a, ∞b, $4c$	a, ∞b, $4c$
Fig. 1	A „	e^3 =	124 16′	124 16′,0	124 16′,0	—	124 20′	„ e^3 . a, ∞b, $3c$	a, ∞b, $3c$
Fig. 2	A „	e =	122 29′,5	122 29′,5	122 27′,1	—	122 32′	„ e . a, ∞b, $2c$	a, ∞b, $2c$
Fig. 3	A „	e^3 =	109 30′	109 26′,5	109 27′,4	—	—	„ e^3 . a, ∞b, $2c$	a, ∞b, $2c$

Digitized by Google

Gemessene Winkel.			Berechnete Winkel.				Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniss der Krystalle von verschiedenem Typus verschieden ist.
			Voraus gesetzt, dass das Axenverhältniss der Krystalle der verschiedenen Typen verschieden ist.	Voraus gesetzt, dass das Axenverhältniss der Krystalle der verschiedenen Typen dasselbe ist.	Von Phillips gemessene Winkel.	Von Marignac gemessene Winkel.	
Fig. 1	*A* gegen i^3	= 102° 50′	102° 47,7	102° 47,7	—	102° 45′	von i^3 . $\infty b, c$
Fig. 1	*B* „ *o*	= 144 11′	144 14,3	144 14,3	—	—	„ *o* . $\infty a, 2b, 3c$
Fig. 1	*B* „ o^2	= 114 48′	114 50,3	114 50,3	115° 10′	—	„ o^2 . $\infty a, 2b, c$
Fig. 1	*A* „ o, o^2	= 90 0′	90 0′	90 0′	90 0′	—	—
Fig. 2	*A* „ *m*	= 115 0′	114 56,4	114 54,9	—	115 0′	„ *m* . $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{2}c$
	C „ *m*		121 59,0	122 0,3	—	—	—
Fig. 3	*A* „ *m*	= 114 45′	114 53,1	114 54,9	—	—	„ *m* . $a, 3b, \frac{3}{2}c$
	C „ *m*		122 1,5	122 0,3	—	—	—
Fig. 2	*A* „ m^2	= 95 20′	95 18,8	95 18,5	—	—	„ m^2 . $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{2}c$
	C „ m^2	= 125 40′	125 34,0	125 35,2	—	—	—
Fig. 3	*A* „ m^2	= 92 50′	92 57,2	92 57,3	—	—	„ m^2 . $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{2}c$
	C „ m^2	= 125 48′	125 43,4	125 42,2	—	—	—
Fig. 3	*A* „ *n*	= 132 7′	132 11,8	132 13,0	—	—	„ *n* . $a, 7b, 7c$
	C „ *n*		122 56,5	122 53,2	—	—	—
Fig. 2	*A* „ *n*	= 125 5′	125 1,5	124 59,3	—	125 9′	„ *n* . $a, 3b, 3c$
	C „ *n*		126 55,5	126 57,3	—	—	—
Fig. 3	*A* „ n^2	= 123 1′	122 55,7	122 56,8	—	—	„ n^2 . $a, 5b, 5c$
	C „ n^2		128 1,8	128 0,5	—	—	—
Fig. 1	*A* „ *n*		116 33,8	116 33,8	—	116 30′	„ *n* . $a, 3b, 3c$
	B „ *n*		127 25,1	127 25,1	—	—	—
Fig. 3	*A* „ n^3	= 111 18′	111 14,1	111 14,9	—	—	„ n^3 . $a, 3b, 3c$
	C „ n^3		133 10,3	133 9,1	—	—	—

Digitized by Google

	Gemessene Winkel.	Berechnete Winkel. Vorausgesetzt, daß das Axenverhältniß der verschiedenen Typen verschieden ist.	Vorausgesetzt, daß das Axenverhältniß der Krystalle der verschiedenen Typen dasselbe ist.	Von Phillips gemessene VWinkel.	Von Marignac gemessene VWinkel.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniß der Krystalle der verschiedenen Typus verschieden ist.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniß der Krystalle von verschiedenem Typus dasselbe ist.
Fig. 2	A gegen $n^2 = 103° 12'$	$103° 9'0$	$103° 8'0$	—	$103° 10'$	von n^2 . a, b, c	$a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{3}c$
	A » $n^3 = 135\ 41$	$135\ 35'6$	$135\ 36'8$	—	—	—	—
Fig. 1	A » $n^3 = 99\ 28$	$99\ 27'7$	$99\ 27'7$	—	$99\ 30'$	» n^3 . a, b, c	$a, \frac{1}{2}b, \frac{1}{2}c$
	B » $n^3 = 132\ 10$	$132\ 4'5$	$132\ 4'5$	—	—	—	—
Fig. 3	A » $n^4 = 97\ 25$	$97\ 22'8$	$97\ 23'1$	—	—	» n^4 . a, b, c	$a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{3}c$
	C » $n^4 =$	$136\ 42'7$	$136\ 41'8$	—	—	—	—
Fig. 3	A » $r = 140\ 20$	$140\ 13'3$	$140\ 14'8$	—	$140\ 30'$	» r . $a, 15b, \frac{15}{2}c$	$a, \frac{15}{9}b, \frac{15}{18}c$
	C » $r =$	$125\ 29'9$	$125\ 28'5$	—	—	—	—
Fig. 3	A » $r^2 = 136\ 8$	$136\ 9'1$	$136\ 10'6$	$136° 16'$	$136\ 6'$	» r^2 . $a, 13b, \frac{13}{2}c$	$a, \frac{13}{9}b, \frac{13}{18}c$
	C » $r^2 =$	$128\ 57'4$	$128\ 56'0$	—	—	—	—
Fig. 1	A » $r = 135\ 48$	$135\ 51'6$	$135\ 51'6$	—	—	» r . $a, 10b, 5c$	$a, \frac{10}{9}b, \frac{5}{9}c$
	B » $r =$	$107\ 0'5$	$107\ 0'5$	—	—	—	—
Fig. 2	A » $r = 135\ 16$	$135\ 19'3$	$135\ 16'8$	$134\ 2'$?	$135\ 16'$	» r . $a, 7b, \frac{7}{2}c$	$a, \frac{7}{9}b, \frac{7}{18}c$
	C » $r =$	$129\ 38'6$	$129\ 41'0$	—	—	—	—
Fig. 3	A » $r^3 = 131\ 25$	$131\ 22'6$	$131\ 24'0$	$131\ 20'$	$131\ 30'$	» r^3 . $a, 11b, \frac{11}{2}c$	$a, \frac{11}{9}b, \frac{11}{18}c$
	C » $r^3 = 133\ 1$	$132\ 55'5$	$132\ 54'0$	—	—	—	—
Fig. 1	A » $r^2 = 129\ 32$	$129\ 29'8$	$129\ 29'8$	$129\ 46'$	$129\ 33'$	» r^2 . $a, 8b, 4c$	$a, \frac{8}{9}b, \frac{4}{9}c$
	B » $r^2 = 109\ 1$	$108\ 54'9$	$108\ 54'9$	—	—	—	—
Fig. 2	A » $r^2 = 125\ 52$	$125\ 50'6$	$125\ 48'1$	$125\ 30'$	$125\ 40'$	» r^2 . $a, 5b, \frac{5}{2}c$	—
	C » $r^2 = 137\ 25$	$137\ 21'3$	$137\ 23'5$	—	—	—	—
Fig. 3	A » $r^4 = 125\ 50$	$125\ 46'9$	$125\ 48'1$	$125\ 30'$	$125\ 52'$	» r^4 . $a, 9b, \frac{9}{2}c$	$a, b, \frac{1}{2}c$
	C » $r^4 = 137\ 28$	$137\ 25'0$	$137\ 23'5$	—	—	—	—

Digitized by Google

Gemessene Winkel.			Berechnete Winkel.				
			Vorausgesetzt, daß das Axenverhältniß der Krystalle der verschiedenen Typen verschieden ist.	Vorausgesetzt, daß das Axenverhältniß der Krystalle der verschiedenen Typen dasselbe ist.	Von Phillips gemessene Winkel.	Von Marignac gemessene Winkel.	Bezeichnung der Flächen, wenn das Axenverhältniß der Krystalle von verschiedenem Typus verschieden ist.
Fig. 1	A gegen r^3	$= 121° 44'$	$121° 43',5$	$121° 43',5$	$121° 45'$	$121° 48'$	von $r^3 . a, 6b, 3c$
	B „ r^3	$= 111\ 0$	$110\ 56,2$	$110\ 56,2$	—	—	—
Fig. 3	A „ r^5	$= 119\ 20$	$119\ 16,4$	$119\ 17,6$	$119\ 24'$	$119\ 30'$	„ $r^3 . a, 7b, \frac{7}{3}c$
	C „ r^5	=	$142\ 20,5$	$142\ 19,5$			
Fig. 2	A „ r^3	$= 113\ 28$	$113\ 25,9$	$113\ 24,2$	—	$113\ 30'$	„ $r^3 . a, 3b, \frac{3}{2}c$
	C „ r^3	$= 146\ 30$	$146\ 21,8$	$146\ 23,5$	—	—	—
Fig. 1	A „ r^4	$= 112\ 23$	$112\ 24,0$	$112\ 24,0$	$112\ 45'$	$112\ 27'$	„ $r^4 . a, 4b, 2c$
	B „ r^4	$= 112\ 54$	$112\ 51,3$	$112\ 51,3$	—	—	—
Fig. 3	A „ r^6	$= 111\ 53$	$111\ 49,3$	$111\ 50,2$	—	$112\ 30'$	„ $r^6 . a, 5b, \frac{5}{2}c$
	C „ r^6	=	$147\ 24,5$	$147\ 23,5$	—	—	—
Fig. 3	A „ r^7	$= 103\ 37$	$103\ 30,5$	$103\ 31,2$	$103\ 42'$	$103\ 30'$	„ $r^7 . a, 3b, \frac{3}{2}c$
	C „ r^7	=	$151\ 56,3$	$151\ 55,6$	—	—	—
Fig. 1	A „ r^3	$= 101\ 41$	$101\ 38,7$	$101\ 38,7$	$101\ 50'$	$101\ 40'$	„ $r^3 . a, 2b, c$
	B „ r^3	$= 114\ 20$	$114\ 18,0$	$114\ 18,0$	—	—	—
Fig. 2	A „ r^4	$= 98\ 18$	$98\ 13,3$	$98\ 12,5$	—	$98\ 4'$	„ $r^4 . a, b, \frac{1}{2}c$
	C „ r^4	=	$153\ 54,4$	$153\ 55,4$	—	—	—
Fig. 3	A „ r^5	$= 94\ 28$	$94\ 34,7$	$94\ 34,9$	—	—	„ $r^5 . a, b, \frac{1}{3}c$
	C „ r^5	$= 154\ 48$	$154\ 46,7$	$154\ 46,1$	—	—	—

Digitized by Google

Bei der Berechnung der Winkel der zweiten Spalte habe ich die Krystalle jedes Typus unabhängig von denen der andern Typen betrachtet, so als ob sie zu drei verschiedenen Mineralspecies gehörten. Das Axenverhältnifs der Grundform läfst sich dann so ausdrücken:

für den ersten Typus (Fig. 1. Taf. II.)

$$a : b : c = 1 : 0{,}245315 : 0{,}227101,$$

für den zweiten Typus (Fig. 2. Taf. II.)

$$a : b : c = 1 : 0{,}343769 : 0{,}318435,$$

für den dritten Typus (Fig. 3. Taf. II.)

$$a : b : c = 1 : 0{,}190730 : 0{,}176465.$$

Die der Rechnung zu Grunde gelegten Winkel sind für jeden Typus auf der Tabelle mit einem Sternchen bezeichnet. In der sechsten Spalte befinden sich die Bezeichnungen für die Flächen unter Voraussetzung des angegebenen Unterschiedes. Daher ist folgendes in Bezug auf den Inhalt der ersten, zweiten und sechsten Spalte in Betracht zu ziehen.

1. Bei den Krystallen des ersten Typus finden sich aufser den Flächen *A* und *B* des rectangulären Prismas drei Arten rhombischer Prismen, von denen die Flächen der beiden horizontalen Prismen mit *e* und *i*, und die der verticalen Prismen mit *o* bezeichnet sind; aufserdem sind noch zwei Arten von Rhombenoctaëdern vorhanden, die mit *n* und *r* bezeichnet sind.

2. Bei den Krystallen des zweiten und dritten Typus finden sich aufser den Flächen *A* und *C* des rectangulären Prismas zwei Arten rhombischer Prismen, beide horizontal, deren Flächen mit *e* und *i* bezeichnet sind; und aufserdem drei Arten Rhombenoctaëder, die mit *m*, *n* und *r* bezeichnet sind.

3. An den Krystallen des ersten Typus finden wir bei den Flächen *e* für die Axe *b* die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5; bei den Flächen *i* für die Axe *e* die Zahlen 1, 3, 5; bei den Flächen *r* für die Axe *c* die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 und das Doppelte dieser Zahlen für die Axe *b*.

4. Bei den Krystallen des zweiten und dritten Typus ergiebt sich für die Axen *bac* bei denselben Arten von

Digitized by Google

Flächen im Vergleich mit denen des ersten Typus ein umgekehrtes Verhältnifs; nämlich *e* und *r*, die im ersten Typus natürlich fortschreitende Zahlenreihen ergeben, haben im zweiten und dritten Typus dieselben, aber in unpaaren Zahlen fortschreitenden Coëfficienten; die Flächen *i*, die im ersten Typus die Coëfficienten für *c* in unpaaren Zahlen hatten, zeigen im zweiten und dritten Typus die natürlich fortschreitende Zahlenreihe.

Betrachtet man das Axenverhältnifs der Grundgestalt jedes Typus, so sieht man leicht:

1) während die Verhältnisse der Axen *a* zu den Axen *b* und *c* merklich verschieden sind, sind dagegen die Verhältnisse der Axen *b* zu *c* bis auf einen höchst geringen Unterschied dieselben.

2) Die Axe *b* des ersten Typus steht zu der Axe *b* des zweiten Typus in einem ungefähren Verhältnifs von 5 zu 7 und zu der Axe *b* des dritten Typus wie 9 zu 7; und die Axe *b* des zweiten Typus verhält sich zur Axe *b* des dritten Typus wie 9 zu 5. Dasselbe Verhältnifs besteht zwischen den Axen *c* von verschiedenen Typen. Bezeichnet daher *R* den Coëfficienten der Axen *b* und *c* des ersten Typus, *S* den der Axen *b* und *c* des zweiten Typus, *J* den der Axen *b* und *c* des dritten Typus, so ist $7R = 5S = 9J$.

Daraus folgt, dafs die drei Typen der Humitkrystalle mit leichten Aenderungen der goniometrischen Messungen auf dieselbe Grundgestalt zurückgeführt werden können, deren Axen sich verhalten würden wie 1 : 1,7172 : 1,5897. Legt man dieses Axenverhältnifs bei der Berechnung der Kantenwinkel zu Grunde, so ergeben sich die Werthe der dritten Spalte; vergleicht man diese mit den correspondirenden Winkeln der zweiten Spalte, so bleibt die gröfste Differenz unter 3 Minuten und diese kann sehr wohl als Messungsfehler angesehen werden.

In der siebenten Spalte finden sich die Bezeichnungen aller Flächen unter der Voraussetzung, dafs alle Humitkrystalle derselben Grundgestalt angehören. In dieser Spalte,

Digitized by Google

wie leicht vorauszusehen war, herrscht nicht mehr die Einfachheit der Zahlenverhältnisse der sechsten Spalte.

Sieht man alle Humitkrystalle als einfache Varietäten derselben Mineralspecies an, so ergeben sich bemerkenswerther Weise drei Rhombenoctaëder der Reihe r, deren Flächen sich so sehr nähern, dafs ihre Neigungen zur Basis A des Grundprismas um weniger als Einen Grad abweichen. Es sind diefs r^2 des dritten Typus, r des ersten und r des zweiten Typus; r^2 unter 136° 11′, r des ersten Typus unter 135° 52′, r des zweiten Typus unter 135° 17′ zu A geneigt.

Die Neigungen von A zu e^2 im ersten Typus und zu e^2 im dritten Typus weichen gleichfalls um weniger als Einen Grad von einander ab; ebenso die von A zu i^2 im dritten Typus.

Marignac giebt bei den Krystallen des ersten Typus einer Fläche der Reihe e eine Neigung von 123° 30′ zu A. Ich habe diese Fläche nie gefunden, sie daher in der Uebersicht nicht aufgeführt, weil sie mir nicht wahrscheinlich ist. Betrachtet man die Krystalle eines jeden Typus für sich, so würde ihr die Bezeichnung $a:\frac{8}{3}b:\infty c$ zukommen. Da ich aber vorher bemerkte, dafs in der Flächenreihe e des ersten Typus die Coëfficienten von b die natürliche Zahlenreihe befolgen, so würde das Verhältnifs $\frac{8}{3}$ im Widerspruch stehen mit der Einfachheit der Verhältnisse, die ich bei der Untersuchung von mehr als hundert Krystallen immer wieder gefunden habe. Aufserdem mufs ich bemerken, dafs die Humitkrystalle, wie ich später zeigen werde, oft in der Art Zwillinge bilden, dafs die Basen A des einen Krystalls mit den Basen A des andern Krystalls einen Winkel von ungefähr 120° von einer, und von 60° von der entgegengesetzten Seite machen (120° 25′ und 59° 34′,6) und bei derartigen Zwillingen ist die Basis A des einen Krystalls zu e^1 des andern Krystalls um 123° 26′,6 geneigt, — ein Winkel, der dem vom Marignac gefundenen sehr nahe kommt.

Philips hat aufserdem noch einige Flächen angege-

Digitized by Google

ben, die ich nie gefunden habe und die irgend einem Typus angepafst, dieselbe Unregelmäfsigkeit in der Bezeichnung ergeben. Aber die offenbaren und zahlreichen Druckfehler in den goniometrischen Messungen der vierten Ausgabe von Phillips[1]) Buche (der einzigen mir zu Gebote stehenden), machen alle Discussion darüber zu einer müfsigen.

Ich mufs ferner noch anführen, dafs ich das Rhombenoctaëder *n* (Fig. 1) des ersten Typus nie gefunden habe, da es aber zu den wahrscheinlichen Flächen dieses Typus gehört, habe ich es auf Marignac's Autorität hin angeführt. Auch das Rhombenoctaëder *n* des dritten Typus (Fig. 3.) habe ich unter den existirenden Flächen angegeben, weil ich es unter meinen 1843 gemachten Messungen verzeichnet finde, obwohl ich später den Krystall, an dem diese Messungen angestellt wurden, nicht wieder gefunden noch auch dies Rhombenoctaëder an andern Krystallen wieder gesehen habe. Endlich habe ich an einem Krystall des zweiten Typus eine Fläche gefunden, wahrscheinlich zur Reihe *i* gehörig, die zur Basis *A* unter 141° 45′ geneigt ist; eine Messung, die sehr nahe $a:\infty b:4c$ giebt. Aber bei der Unvollständigkeit des Krystalls habe ich mir keine Gewifsheit verschaffen können, zu welcher Reihe sie gehöre.

Ich stelle die Humitkrystalle zum System des rectangulären Prismas, allein es giebt bei vielen Krystallen einige auffallende Charaktere, die bei oberflächlicher Betrachtung zu der Ansicht verleiten könnten, die Krystalle gehörten zum System des monoklinischen Prismas. An den Krystallen des ersten Typus erscheinen alle Flächen mit der Regelmäfsigkeit, die man von Krystallen mit rechtwinkligen Axen verlangt, und sie entsprechen genau der Fig. 1. Bei den Krystallen des zweiten und dritten Typus zeigen sich die Flächen der rhombischen Prismen *e* und *i* noch wie im System des rectangulären Prismas; aber von den Rhomben-

1) *An elementary introduction to mineralogy. Fourth edition by Robert Allan. London* 1837, *p.* 89.

Digitized by Google

octaëdern der zahlreichen Reihe *r* fehlt *fast immer* die Hälfte der Flächen, und zwar mit einer wunderbaren Symmetrie. Nun findet sich 1) dafs von jeder Art der Rhombenoctaëder *r* *oben* nur das eine Paar der Flächen, die sich bei den Axen *b* verbinden und unten nur das ihr parallele Flächenpaar vorkommt, 2) dafs von denselben Arten der Rhombenoctaëder *r*, die jedem der beiden letzten Typen eigenthümlich sind, einige links, andere rechts sich finden, und dafs constant rechts die Rhombenoctaëder mit denen links alterniren. Diese *gewöhnliche* Anordnung der Flächen aus der Reihe *r* der Humitkrystalle des zweiten und dritten Typus ist genau in Fig. 4 u. 5. Taf. II. dargestellt.

Die gewöhnliche Lage der Flächen von den andern Rhombenoctaëdern *m* und *n* ist schwerer zu bestimmen, weil einige derselben oft gänzlich fehlen. Nichts desto weniger findet sich meistentheils folgendes:

1) Die Rhombenoctaëder n^2 des zweiten und n^3 des dritten Typus sind vollständig da;

2) Das Rhombenoctaëder *n* des zweiten Typus findet sich halb auf derselben Seite, wo r^2 liegt, und die Rhombenoctaëder n^2 und n^4 des dritten Typus sind ebenfalls halb vorhanden, *alle* auf der Seite von r^7.

3) Die Rhombenoctaëder *m* und m^2 des zweiten Typus existiren halb, beide auf der r^2 entgegengesetzten Seite; im Gegensatz hierzu finden sich die halben Rhombenoctaëder *m* und m^2 des dritten Typus beide auf derselben Seite wie r^7.

Alles dies begreift sich leichter, wenn man einen Blick auf Fig. 4. und 5. wirft.

Bei den erwähnten Verhältnissen der drei Arten Rhombenoctaëder an den Krystallen des zweiten und dritten Typus könnte man sehr leicht zu der Meinung kommen, dafs jene Krystalle zum monoklinoëdrischen System gehören und dafs daher die Neigung der Basis *A* zu den Flächen *e* auf der linken Seite etwas verschieden sei von der Neigung zu den correspondirenden Flächen auf der rechten Seite.

Um darüber ins Klare zu kommen, wählte ich daher

Digitized by Google

den besten Krystall des dritten Typus, an welchem auf beiden Seiten die Basis A und die Fläche e^4 sehr glänzend vorhanden waren. Ich traf alle Vorsichtsmafsregeln, um die Messung höchst genau zu machen und bediente mich eines Reflexionsgoniometers, dessen Kreis noch 10 Secunden angab. Die Neigung von A zu e^4 auf der rechten Seite (Fig. 5.) fand ich $= 100° 47' 35''$ und auf der andern Seite $= 100° 49' 0''$. Diefs ist das mittlere Resultat von vier Messungen für jeden Fall, deren gröfste Differenzen für den ersten Fall 50″ und für den zweiten 1′ 20″ waren.

Wegen dieser höchst geringen Abweichung, die mir vielmehr zufällig erscheint, zog ich es vor, die Humitkrystalle aller Typen auf das System des rectangulären Prismas zu beziehen. Diefs konnte ich um so mehr, als, wenn auch die Rhombenoctaëderflächen des zweiten und dritten Typus in der Regel nur halb vorhanden sind — als Repräsentanten eines eigenthümlichen Gesetzes von Hemiëdrie — dennoch einige Ausnahmen vorkommen, welche der aus jener Hemiëdrie etwa zu ziehenden Folgerung, dafs die Krystalle zum monoklinoëdrischen System gehören, offenbar widersprechen. Und aufser dem über die Rhombenoctaëder n^2 des zweiten und n^3 des dritten Typus schon Angeführten habe ich auch gefunden:

1) In einigen meiner Meinung nach einfachen *(nicht Zwillings-)* Krystallen des zweiten Typus treten die Rhombenoctaëder der Reihe r mit allen ihren Flächen auf (s. Fig. 2.).

2) In einigen Drillingen des dritten Typus (Taf. II. Fig. 9.) ist das Rhombenoctaëder r^4 vollständig vorhanden.

3) Die Rhombenoctaëder n des zweiten und n^4 des dritten Typus habe ich bisweilen mit allen ihren Flächen gefunden.

4) Auch das halbe Rhombenoctaëder m^2 habe ich bisweilen gefunden, nicht wie gewöhnlich auf der entgegengesetzten Seite von r^2, sondern auf derselben Seite mit r^2.

Die Humitkrystalle, zu welchem Typus sie auch gehören mögen, finden sich oft als Zwillinge oder Drillinge,

Digitized by Google

so dafs die Basis *A* des einen Krystalls zur Basis *A* des andern unter einem Winkel von ungefähr 120° und 60° geneigt ist. Betrachtet man die drei Typen als zu derselben Mineralspecies gehörig, so können zwei verschiedene Zwillingsebenen diese Neigung der Basen in den Zwillingskrystallen verursachen. Die eine, welche als Zeichen hat *a*, *b*, ∞*c* findet sich an keinem Humitkrystall, *(il quale non si trova in alcun cristallo di Humite)* — wir wollen sie mit *e'* bezeichnen; die andere, *a*, $\frac{1}{3}b$ ∞ *c*, findet sich nur an Krystallen des dritten Typus, wir wollen sie $e^{\frac{1}{3}}$ nennen. Die erstere Ebene würde sich unter 59° 47′ zur Axe *a* neigen, die zweite bildet mit derselben Axe *a* einen Winkel von 29° 47′. Wenn daher die Zwillingsebene *e'* wäre, so würden die Basen *A* der einfachen Krystalle Winkel von 119° 34′ und 60° 26′ mit einander machen; ist aber die Zwillingsebene $e^{\frac{1}{3}}$, so machen die Basen *A* der beiden Krystalle einen Winkel von 120° 26′ und 59° 34′.

Bei allen Zwillingskrystallen des zweiten und dritten Typus, die ich untersuchen konnte, fand ich *e'* als Zwillingsebene der erstern, und $e^{\frac{1}{3}}$ als Zwillingsebene der letzteren. Darüber habe ich mir Gewifsheit verschafft theils durch directe Messung des Neigungswinkels der Basen *A*, theils noch sicherer und zweifelloser dadurch, dafs ich bei den Zwillingskrystallen des zweiten Typus eine vollkommene Coïncidenz der Flächen r^2 des einen Krystalls mit den Flächen r^2 des andern in derselben Ebene beobachtete (Taf. II. Fig. 6 u. 7). An den Zwillingskrystallen des dritten Typus fallen die Flächen r^2 der beiden einfachen Krystalle in eine Ebene zusammen, während dies bei den Flächen r^4 nicht ganz der Fall ist (Taf. II. Fig. 8 u. 10).

Um die Wichtigkeit dieser Beobachtung besser einzusehen, stelle man sich vor, dafs *C* und *C'* (Fig. 13) die Projectionen zweier Rhombenoctaëder r^2 des zweiten Typus auf einer Ebene, senkrecht auf die Axe *c*, seien. Diese Rhombenoctaëder haben als Zeichen *a*, *b*, $\frac{1}{2}c$ und folglich machen die Kanten *Ab*, *b'A'*, *ba*, *b'a'* u. s. w. mit der Axe *a* Winkel von 59° 47′. Läfst man nun die Kante *ba*

Digitized by Google

mit der Kante $b'a'$ zusammenfallen, so werden die Kanten AB mit $b'a'$ und ba mit $A'B'$ parallel seyn. Folglich sind die Flächen r^2 und $r^{2''}$ des Krystalls C mit den Flächen $r^{2'}$ und $r^{2'''}$ des Krystalls C' parallel. Haben sich nun die Zwillingskrystalle des Humits gegenseitig durchdrungen Fig. 14, so fallen die parallelen Flächen zusammen und daher bildet die Fläche $r^{2'}$ eine Ebene mit der Fläche r^2 und ebenso die Fläche $r^{2''}$ mit der Fläche $r^{2'''}$. Nun begreift es sich leicht, dafs, wenn jene Coïncidenz wahr ist, auch das Gesetz, aus welchem man sie ableitet, wahr seyn mufs, nämlich dafs die Zwillingskanten ba und $b'a'$ sind oder — was dasselbe ist — dafs die Zwillingsebene e' ist.

Wenn ferner C und C' (Fig. 15.) die Projection zweier Rhombenoctaëder r^7 des dritten Typus mit den Zeichen $a, \frac{1}{7}b, \frac{1}{c}c$ ist, so läfst sich, wie im vorigen Fall, beweisen, dafs da r^7 von C mit $r^{7'''}$ von C' und $r^{7''}$ von C mit $r^{7'}$ von C' parallel sind, die Zwillingsebene $e\frac{1}{3}$ mit dem Zeichen $a, \frac{1}{3}b \infty c$ seyn mufs.

Wenn die Neigung von e' zur Axe a genau 60° und die Neigung von $e\frac{1}{3}$ zu derselben Axe genau 30° wäre, so könnte man nicht entscheiden, ob in den Zwillingskrystallen e' oder $e\frac{1}{3}$ die Zwillingsebene wäre. Denn in beiden Fällen würden bei der Durchwachsung der Krystalle die Flächen A genau unter 120° und 60° geneigt seyn. Und bei den Zwillingskrystallen des dritten Typus würde man beobachten, dafs sowohl die Flächen des Rhombenoctaëders r^7 mit dem Zeichen $a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{c}c$, als auch die des Rhombenoctaëders r^4 mit dem Zeichen $a, b, \frac{1}{c}c$ in eine Ebene zusammenfallen. Da ich aber durch die Rechnung wie durch die goniometrischen Messungen gezeigt habe, dafs e' zur Axe a unter 59° 47′ und $e\frac{1}{3}$ unter 29° 47′ zu derselben geneigt sind, so können, wenn $e\frac{1}{3}$ die Zwillingsebene ist, die Flächen des Rhombenoctaëders r^4 nicht völlig in eine Ebene fallen. Das bestätigt sich auch in der That; denn in den Zwillingskrystallen des dritten Typus bilden die neben einander liegenden Flächen des Rhombenoctaëders r^4 zweier einfachen Krystalle einen

Digitized by Google

sehr stumpfen einspringenden und ausspringenden Winkel (Taf. II. Fig. 10.), welcher nach den Messungen = 179° 30′ nach der Berechnung = 179° 24′,7 ist.

In den Fig. 6 und 7. habe ich zwei der einfachsten Zwillingsgestalten von Krystallen des zweiten Typus dargestellt, an denen ich nur die an den Originalen vorkommenden Flächen und zwar gänzlich in demselben Gröfsenverhältnifs, wie sie sich finden, gezeichnet habe. In der Gruppe Fig. 6. zeigt sich eine vollkommene Durchwachsung der beiden Krystalle; daher liegt die Fläche r^2 der linken obern Seite des Krystalls A mit der Fläche $r^{2'}$ der linken untern Seite des Krystalls A' in einer Ebene. In der Fig. 7. sieht man — ein sehr seltener Fall — die beiden Krystalle ohne Durchwachsung vereinigt. Und hierbei ist bemerkenswerther Weise das Verwachsungsbestreben der Fläche r^2 der einfachen Krystalle so vorwaltend, dafs alle die Flächen verschwunden sind, welche an der rechten obern Seite des Krystalls A zur Bestätigung der Verwachsung von dieser Seite da seyn müfsten.

Fig. 8. stellt einen Zwillingskrystall des dritten Typus dar mit der Zwillingsebene $e\frac{1}{3}$. Hier fallen wiederum die identischen Flächen dreier verschiedener Rhombenoctaëder in eine Ebene. Die Rhombenoctaëder, welche dies Verhalten zeigen, sind das früher besprochene r^7 mit der Bezeichnung a, $\frac{1}{3}b$, $\frac{1}{6}c$, n^3 mit der Bezeichnung a, $\frac{1}{3}b$, $\frac{1}{3}c$ und m mit den Zeichen a, $\frac{1}{3}b$, $\frac{1}{7}c$. Der Grund für die Coïncidenz in allen drei Arten liegt darin, dafs der Coëfficient der Axe b immer $\frac{1}{3}$ ist.

Die Gruppe Fig. 10. ist scheinbar etwas verwickelter; denn man kann sie betrachten als aus 4 Krystallen gebildet, die je 2 und 2 dieselbe Lage haben. Da in der That die Flächen A mit A'' und A''' mit A' parallel sind, so haben folglich die Krystalle A und A'' einerseits und die Krystalle A''' und A' andererseits wegen der Stellung ihrer Axen eine ähnliche Lage, und sowohl die erstern als die letzteren würden einen einzigen Krystall bilden, wenn die Basis A mit A'' und die Basis A''' mit A' in einer Ebene

Digitized by Google

lägen. Unter dieser Voraussetzung würde keine wesentliche Abweichung von der Zwillingsgestalt Fig. 8. stattfinden. Aber die richtige Anschauung solcher Krystallgruppen, die sich an den Krystallen des dritten Typus nicht selten finden, ist die, dafs man sie als zwei zusammengewachsene Zwillingskrystalle betrachtet, deren Vereinigungsebene auch $e^{\frac{1}{3}}$ ist, weshalb sie als Vierlinge erscheinen. Indessen ist zu bemerken:

1) Dafs $e^{3'}$ mit A'' nicht völlig in einer Ebene liegt, sondern damit einen einspringenden Winkel von 179° 21' bildet.

2) Dafs r^3 mit $r^{3''}$ und $r^{3'''}$ mit $r^{3'}$ parallel ist.

3) Dafs $r^{3'''}$ mit r^3 und $r^{3''}$ mit $r^{3'}$ einspringende Winkel von 179° 24',7 und r^3 mit $r^{3'}$ ausspringende Winkel von derselben Gröfse bilden.

An dem Krystalle, welcher dieser Zeichnung zu Grunde liegt, sind viele sehr feine parallele Streifen auf den Flächen A und A' und die Vereinigung von r^7 mit $r^{7'''}$ und von $r^{7'}$ mit $r^{7''}$ ist, wie ich es in der Zeichnung dargestellt habe, durch eine wellige Linie angezeigt. Dennoch geben sowohl die beiden ersten, als auch die letzteren Flächen nur *ein* Bild von reflectirten Gegenständen, sie liegen also in einer Ebene oder wenigstens einander parallel.

Von den Krystallen des zweiten und dritten Typus finden sich auch drei gleichzeitig verwachsen und dieser Fall, der vielleicht am häufigsten vorkommt, erschwert sehr ihre deutliche Erkennung. Es pflegen in einer Gruppe zwei oder mehre Krystalle von ähnlicher oder einer solchen Stellung vereinigt zu sein, dafs in ihrer gegenseitigen Lage nur kleine Abweichungen statt finden; daraus entsteht ein fast unentwirrbares Durcheinander von ein- und ausspringenden Winkeln in öfterer Wiederkehr. An den wirklichen oder wenigstens scheinbaren Drillingen sowohl des zweiten als dritten Typus ist die Zwillingsebene (*indistintamente*) entweder e' oder $e^{\frac{1}{3}}$. Fig. 9. stellt einen Krystall des dritten Typus dar, der scheinbar ein Drilling ist. Das Bemerkenswertheste an ihm ist zum Unterschied von denen

in

Digitized by Google

in Fig. 6 und 8., dafs an der linken Seite jedes einfachen Krystalls sich die nämlichen Flächen finden, statt dafs dieselben wie an der rechten Seite des andern Krystalls angeordnet seyn müfsten. Daher kommt es, dafs bei der Betrachtung je zweier Individuen die an ihnen auftretenden Flächen r^7 nicht diejenigen sind, die in eine und dieselbe Ebene fallen müfsten. In der Gruppe, die zu dieser Zeichnung gedient hat, reflectirten die Basen der Krystalle A und A' nur Ein Bild der Gegenstände, während die obere Fläche von A'' drei Bilder und die untere Fläche von A'' zwei Bilder gab. Ich sehe daher den Krystall $A''A''$ als aus dreien gebildet an, und nenne diese $A''x$, $A''y$, $A''z$; sie bieten in ihrer gegenseitigen Lage nur geringe Abweichungen dar, und der scheinbare Drilling mufs daher als Fünfling angesehen werden. Folgendes sind die Neigungswinkel von A, A' und A''.

	Gemessen:	Berechnet:
$A : A'$	$= 119° 26'$	$119° 34$
$A : A$ unten	$= 60° 35'$	$60° 26$
$A : A''x$	$= 121° 0'$	$120° 52'$
$A : A''y$	$= 120° 23'$	$120° 26'$
$A : A''z$	$= 120° 1'$	$120° 0'$
$A : A''z$ unten	$= 59° 54'$	$60° 0'$
$A : A''y$ unten	$=$	$59° 34'$
$A : A'x$ unten	$= 59° 4'$	$59° 8'$

Aus den gefundenen Winkeln läfst sich für die dargestellte Gruppe folgende Zwillingsbildung ableiten:

AA mit	$A'A'$	Zwillingsebene e
$A'A'$ »	$A''x\,A''x$	» e'
AA »	$A''y\,A''y$	» $e\frac{1}{3}$
$A'A'$ »	$A''z\,A''z$	» $e\frac{1}{3}$

Als diese Vereinigungsweise der einfachen Krystalle festgestellt war, berechnete ich die in der zweiten Spalte angeführten Winkel, deren geringe Abweichungen vom Werth der gefundenen die Gränzen der bei Messung mäfsig glänzender Krystalle unvermeidlichen Irrthümer nicht sehr überschreitet.

Digitized by Google

Die Krystalle des ersten Typus sind meistens einfache oder sie bestehen aus zwei einfachen mit den Basen *A* verbundenen Krystalle; denn oft sind sie in der Mitte etwas eingeschnürt, wegen der von dem untern e^5 des obern Theils mit dem obern e^5 des untern Theils gebildeten einspringenden Winkel. Bisweilen findet man unter ihnen einen Krystall, dessen Basis *A* mit der Basis *A* des ersten Krystalls Winkel von ungefähr 120° und 60° macht, wie in den Zwillingskrystallen der beiden andern Typen. Aber die Aufsuchung ihrer Zwillingsebenen ist mir etwas schwer geworden, weil an ihnen die Rhombenoctaëder fehlen, die für die Axe *b* als Coëfficient $\frac{1}{7}$ oder 1 haben und durch das Zusammenfallen ihrer Flächen in eine Ebene das Gesetz der Zwillingsbildung klar machen könnten. An den wenigen von mir beobachteten Zwillingskrystallen des ersten Typus konnte ich nur zweimal die Neigung der Basen der einfachen Krystalle messen, da ich sie ungefähr = 120° 30′ fand, so zweifle ich nicht, dafs in den gemessenen Gruppen die Zwillingsebene $e\frac{1}{7}$ ist. Uebrigens scheint mir diefs nicht hinlänglich, um eine allgemeine Regel daraus abzuleiten.

Die bisher von den Krystallformen des Humits erwähnten Thatsachen sind gewifs aufsergewöhnlich, und um ihren wahren Grund anzugeben scheinen mir unsere jetzigen krystallographischen Kenntnisse nicht auszureichen. Was die Thatsache anbetrifft, dafs es drei verschiedene Typen der Krystalle giebt, deren jeder durch zahlreiche Flächen, die in den andern Typen fast alle fehlen, ausgezeichnet ist, und mehr noch dafs die Flächen desselben Typus durch sehr einfache Gesetze unter einander im Zusammenhang stehen, und dafs die Axen *b* und *c* der drei Typen ihr Verhältnifs $\frac{1}{7} : \frac{1}{5} : \frac{1}{9}$ beibehalten, so ist diefs eine Thatsache, die ich mit allen ihren Eigenthümlichkeiten am Dimorfin[1]) wiedergefunden habe, an welchen es zwei Typen giebt, und bei welchem die Typen *b* und *c* des einen Typus zu densel-

1) *Memorie geologiche sulla Campania per A. Scacchi. Napoli* 1849. *p.* 119.

Digitized by Google

ben Axen des andern im Verhältnifs von $\frac{1}{7}:\frac{1}{5}$ stehen. Wir können daraus schliefsen, dafs die Humitkrystalle aus zusammengesetzten Moleculen verschiedener Ordnung bestehen. In der That, nimmt man in dem allen Krystallen dieser Mineralspecies gemeinsamen Elementar-Molecul die Axen $a:b:c = 1:1{,}7172:1{,}5897$ an und fügt sieben solcher Molecule in die Richtung der Axe a zusammen, so wird man in dem zusammengesetzten Molecul die Axen $a:b:c = 1:0{,}245315:0{,}227101$ finden, ein Verhältnifs, welches sich bei den Axen der Grundform der Krystalle des ersten Typus findet. Reiht man auf ähnliche Weise fünf oder neun Elementar-Molecule in der Richtung der Axe a an einander, so erhält man in den zusammengesetzten Moleculen Axenverhältnisse wie sie denen des zweiten und dritten Typus entsprechen. Diese Erklärung einer nicht unmittelbar wahrnehmbaren Thatsache ist so einfach und natürlich, dafs sie als treue Uebersetzung des oben Erörterten gelten kann, wo mit Zahlen das Verhältnifs der Axen b und c in Krystallen von verschiedenem Typus angegeben ist. Es ist dabei nur der aus den goniometrischen Messungen gefolgerte algebraische Ausdruck in die vielleicht noch deutlichere Sprache der Physik übersetzt. Aber warum verbinden sich von den Elementar-Moleculen in den verschiedenen Fällen immer 5, 7 oder 9 miteinander?

Unter den bemerkenswerthesten Erscheinungen an den Humitkrystallen ist auch die eigenthümliche Hemiëdrie fast aller Rhombenoctaëder des zweiten und dritten Typus auffallend, wodurch nicht, wie in allen bisher bekannten Fällen, ein Tetraëder entsteht, sondern rhombische Prismen, indem die vier Flächen bleiben, die in einer und derselben Zone liegen. Ist nun auch diese Erscheinung nicht durchaus constant, so schmälern doch die sehr seltenen Ausnahmen ihre Wichtigkeit nur wenig, und wenn man einst die Ursache entdeckt haben wird, dann werden die seltenen Ausnahmen leicht verständlich seyn.

Für die künftigen Fortschritte der Krystallographie wird die Betrachtung zweckmäfsig seyn, wie an den Humitkry-

Digitized by Google

stallen die verschiedenen Flächen eines jeden Typus sich sämmtlich in besondern Zonen befinden, unter welche die Flächen der Krystalle von verschiedenem Typus nicht eingereiht werden können. Bei der Betrachtung von Fig. 4 und 5. bemerkt man eine ungewöhnliche Anordnung, die sich kurz so erklären läfst, dafs dort bestimmte Flächenzonen vorhanden sind. In der That haben wir für den zweiten Typus Fig. 4. folgende drei Zonen $e^{2\prime}$, r, n, m; — $e^{2\prime}$, r^2, i, r^3, n^2, m^2; — $e^{2\prime}$, $n^{2\prime}$, r^4, C, $r^{4\prime}$, $n^{2\prime\prime}$, welche alle Flächen aufser A und e umfassen. Aufserdem haben wir noch drei andere Zonen e, r^2, $n^{2\prime}$, $m^{2\prime}$ — e, r, i, r^4, $n^{2\prime\prime\prime}$, m'; — e, n, r^3, C, $r^{3\prime}$, n', welche alle Flächen aufser A und e^2 begreifen; endlich noch vier Zonen A, m, m^2; — A, n, n^2, $n^{2\prime\prime}$ — A. r, r^3, $r^{4\prime}$, $r^{2\prime}$; — A, i, C, i', welche alle Flächen aufser e und e^2 begreifen. Im dritten Typus Fig. 5. sind die Zonen $e^{4\prime}$, r^2, i, r^3, n^2, m; — $e^{4\prime}$, r^4, i^2, r^5, n^3; — $e^{4\prime}$, n^3, r^6, i^3, r^7, n^4, m^2; — e^2, r^5, i^2, r^6; — e^3, n^2, r^5, i^3, r^8, $n^{4\prime}$; — e^3, m, n^3, r^7, C u. s. w. Alle diese Zonen, die ausgenommen, welche A oder C umfassen, haben ihre Ebenen[1]) schiefwinklig gegen alle drei Axen des Krystalls geneigt; die Ebenen der Zonen, die A oder C enthalten, sind parallel der einen Axe und machen mit den beiden andern Axen schiefe Winkel; die Ebene der Zone, die A und C enthalten, ist parallel zwei Axen und perpendikulär der dritten. Man kann daher die ersten *triklinische*, die zweiten *diklinische* und die letzten rechtwinklige Zonen nennen.

Bei den Krystallen des ersten Typus Fig. 1. giebt es aufser den diklinischen und rechtwinkligen Zonen, welche die mit der Spaltungsrichtung parallele Fläche A enthalten und in allen Stücken mit denen der beiden andern Typen übereinstimmen, folgende diklinische Zonen B, n^2, r^5, i^3 — B, n, r^3, i^2; — B, r, i und eine triklinische e^4, r^2, i^2, r^4, $n^{2\prime}$, o', welche alle Rhombenoctaëder und die rhombischen Prismen der Reihe i enthalten. In den Krystallen des

1) Drei oder mehr Flächen gehören zu derselben Zone, wenn man Eine für alle normale Ebene construiren kann. Diese Ebene heifst die *Zonenebene*.

Digitized by Google

ersten Typus walten also die diklinischen, in denen des zweiten und dritten Typus die triklinischen Zonen vor. Und während es bei den erstern drei Rhombenoctaëder r, r^3, r^5 giebt, deren Flächen mit einer Fläche aus der Reihe i in denselben diklinischen Zonen liegen, giebt es bei den letztern kein Rhombenoctaëder mit denselben Verhältnissen.

Die Beobachtung, dafs nicht nur bei den Humitkrystallen, sondern auch bei denen vieler andern Mineralspecies die Flächen in besondere Zonen vertheilt sind, erweckte in mir den Gedanken, dafs die Ursache der verschiedenen Gestalten, welche die Krystalle derselben oryktognostischen Species darbieten, und überhaupt die Kräfte, welche die Vereinigung der Molecule bei der Krystallbildung anordnen, solcher Art seyen, dafs man daraus die Zonen-Anordnung, welche man thatsächlich beobachtet, ableiten mufs. Ich habe mich daher bewogen gefunden, eine sehr lange Arbeit über die geometrischen Gesetze der Krystallzonen zu unternehmen, die ich hoffentlich in Kurzem veröffentlichen werde, und enthalte mich deshalb eines längern Verweilens bei diesem Gegenstande.

Um zum Humit zurückzukehren, so findet sich derselbe nur krystallisirt in den losen Blöcken des Monte Somma. Fast immer trifft man in demselben Block nur Krystalle desselben Typus, blofs zweimal fand ich Krystalle des ersten und dritten Typus zusammen. Zwei Gesteine enthalten gewöhnlich Humit: der blättrige oder körnige Kalk und ein anderes eigenthümliches Gestein von granitischer Structur, das aus weifslichem Olivin, Glimmer und Magneteisenstein besteht. In dem erstern Gestein sind die Humitkrystalle entweder auf der innern Fläche der Geoden aufgewachsen oder sie sind von dem Kalke locker bedeckt und fast immer von Zeilanit und grünen Glimmerkrystallen begleitet. Die sich so findenden Krystalle gehören in der Regel zum zweiten oder dritten Typus. In dem andern Gestein kommen gewöhnlich die Krystalle des ersten oder dritten Typus vor und zwar meistens in Begleitung von

Digitized by Google

Zeilanit, Vesuvian, Granat und kleinen gelben Augiten, die man häufig fälschlich für Topase gehalten hat. Doch findet sich der Humit auch, wiewohl seltener, in vielen andern Gesteinen, begleitet von so viel verschiedenen Mineralien, dafs ihre Aufzählung zu lang und unnütz seyn würde.

Die Farbe des Humits ist sehr verschieden, am häufigsten ist sie braun und röthlichbraun, gelb oder weifs. An ihr hat man durchaus keinen Anhaltspunkt für die Unterscheidung der Krystalle von verschiedenem Typus, denn alle ohne Unterschied bieten dieselben Farbenvarietäten dar. Oft ist es eben so unmöglich, sie nach dem Ansehen ihrer Gestalt zu unterscheiden; trotz der langen Uebung habe ich bisweilen nur mittelst des Goniometers das Richtige treffen können. Die grofse Zahl der Flächen und der vielen einspringenden Winkel, die sich in der Gestalt von Streifen auf den Flächen der Reihe *e* zeigen, sind die sichersten Merkmale, um nicht den Humit mit Vesuvian oder Olivin zu verwechseln.

Sein specifisches Gewicht, mit kleinen Krystallbruchstücken bestimmt, ist ungefähr = 3,2. In der Muthmafsung, dafs die Krystalle von verschiedenem Typus eine verschiedene Dichtigkeit haben könnten, habe ich Versuche darüber angestellt und erhielt:

Spec. Gew. von	weifsen	Krystallen	des	1.	Typus = 3,234
» » »	braunen	»	»	3.	» = 3,199
» » »	gelblichen	»	»	3.	» = 3,186
» » »	gelben	»	»	2.	» = 3,177.

Seine Härte ist = der des Feldspaths oder etwas gröfser. In der Löthrohrflamme verändert er sich nicht. Mit erwärmter Salzsäure zersetzt sich das gepulverte Mineral leicht.

Den Humit unterschied zuerst der Graf v. Bournon, der ihn im Jahre 1817[1]) beschrieb und ihm den Namen des Hrn. Abrah. Hume, Vicepräsidenten der Londoner geologischen Gesellschaft, beilegte. Später hat Phillips

1) *Catalogue de la collection mineralogique particulière du Roi de France. Paris* 1817.

Digitized by Google

das Krystallsystem des Humits kennen gelehrt und die goniometrischen Messungen von 27 beobachteten Flächen bekannt gemacht [1]).

G. Rose hat diese Species vielleicht wegen der eigenthümlichen Hemiëdrien der Krystalle des zweiten und dritten Typus zu dem monoklinoëdrischen System gerechnet [2]). Vor ungefähr 10 Jahren (1839) überreichte ich der Königl. Academie der Wissenschaften in Neapel eine Abhandlung, in welcher ich den Unterschied zweier Typen der Humitkrystalle kennen lehrte, nämlich des ersten und zweiten, von denen ich damals glaubte, dafs sie zwei verschiedenen Mineralspecies angehören müfsten; ich behielt daher für den erstern den Namen Humit bei und nannte den zweiten Brocchit zu Ehren des berühmten Geologen Brocchi. Von dieser Abhandlung erschien nur eine unvollständige Notiz in den *Annali civili del Regno di Napoli* [3]) und als ich auch kurz darauf die Krystalle des dritten Typus untersucht hatte, unterliefs ich die Veröffentlichung der ganzen Arbeit. Im Jahre 1846 legte der Prof. C. Marignac der Genfer Gesellschaft für Naturgeschichte eine Arbeit über Humit vor, in welcher er zeigte, dafs die chemische Zusammensetzung dieser Species mit der des Chondrodits identisch sey; er unterscheidet ferner drei Typen von Krystallformen und verschafft uns die Kenntnifs von 35 Arten von Flächen [4]). Da er aber die Beziehungen zwischen den Krystallen von verschiedenem Typus nicht kannte hielt er die Flächen e^2 des ersten Typus für identisch mit e^2 des zweiten Typus und r^4 des ersten mit r^6 des dritten Typus, die doch wesentlich verschieden sind; er stellte ein Axenverhältnifs auf, welches ihn auf höchst verwickelte Bezeichnungen führte. In dieser meiner neuesten Arbeit habe ich nun bis an 50 Arten von Flächen von Humitkry-

1) *Quarterly Journal of Sciences. T. I., p.* 314.
2) *Elements de cristallographie, traduit par M. Victor Regnault. Par.* 1834. *p.* 269.
3) *Fascic. XLV., p.* 15, 16.
4) *Archives des sciences physiques et naturelles No.* 14.

Digitized by Google

stallen kennen gelehrt; ich habe die Beziehungen zwischen den Krystallen der verschiedenen Typen auseinandergesetzt, auf die ungewöhnliche Hemiëdrie der Rhombenoctaëder des zweiten und dritten Typus aufmerksam gemacht und die verschiedenen Fälle der Zwillingsbildung bestimmt.

Olivin.

Diese sehr bekannte und an vielen Orten vorkommende Species erwähne ich hier nur, um ihre Krystalle mit dem Humit zu vergleichen, mit dem sie in ihren wesentlichen geometrischen Charakteren so viel Aehnlichkeit haben, dafs man mit Recht eine Aehnlichkeit beider in der chemischen Zusammensetzung vermuthen kann.

Aufser den in den Laven des alten M. Somma und des neuen Vesuvs sehr häufig vorkommenden grünen Olivinkrystallen findet sich dieselbe Varietät auch in den losen Blöcken des M. Somma. In denselben Blöcken finden sich ferner so viele andere Olivinvarietäten, dafs mich die Aufzählung selbst nur der merkwürdigsten von meinem Ziele weit entfernen würde. Es sey hier indefs beiläufig bemerkt, dafs der Forsterit von Levy[1]) und der Monticellit von Brooke[2]) zum Olivin gehören, dafs die Abweichungen dieser Species im Gehalt von Eisenoxydul oder Kalkerde liegen, die zum Theil die Magnesia vertreten, und dafs diese nicht nur das äufsere Ansehen des Olivins,

1) *Ann. of. Phil. XXXVII*, 61. Die Forsteritkrystalle bestehen nach Levy aus den Flächen *A*, *B*, *r*, o^3, Fig. 12. Abgesehen von der Differenz von ungefähr 1° bei den Winkeln dieser Species und denen, die ich am Olivin fand, ist es merkwürdig, dafs die Spaltbarkeit, wenn hier kein Beobachtungsfehler vorliegt, parallel *A*, nicht *B* sein soll. An den weifsen Olivinkrystallen, die alle andern am Forsterit beschriebenen Merkmale und auch dasselbe Vorkommen haben, beobachtete ich nur die Spaltbarkeit parallel *B* und nur an einigen sehr zerbrechlichen Krystallen habe ich aufser der deutlichen Spaltbarkeit parallel *B* noch eine Andeutung von Spaltbarkeit parallel *A* gefunden. Die analytischen Versuche von Children, nach denen der Forsterit aus Kieselsäure und Magnesia besteht, sind ein Grund mehr, ihn nicht vom Olivin zu trennen.

2) *On Monticellite, a new species of mineral. Philosoph. Magaz. and Annals for October* 1831.

Digitized by Google

sondern auch merklich die Härte, die Schmelzbarkeit vor dem Löthrohr und die Zersetzbarkeit durch Säuren verändern.

Die grünen Olivinkrystalle pflegen bis an 11 Arten von Flächen zu besitzen; dieſs ist die höchste von mir aufgefundene Anzahl (Fig. 11.). Die andern weiſsen oder weiſslichen Varietäten pflegen nur die in Fig. 12. gezeichneten Flächen zu zeigen und oft fehlt die Fläche *A*.

Ich habe zu den genauesten Messungen einen grünlichweiſsen, durchsichtigen und sehr glänzenden Krystall benutzt, der in einem aus Augit und Glimmer bestehenden Block sich fand und alle Flächen der Fig. 11. hatte. Nach dem Werthe der gefundenen Winkel bin ich geneigt, folgendes Längenverhältniſs der Axen der Grundform anzunehmen:

$$a : b : c = 1 : 1{,}70464 : 1{,}59396.$$

Vergleicht man dieses Verhältniſs mit dem der Axen des Humits, so findet sich hier nur eine sehr kleine Abweichung in der zweiten Decimalstelle, wodurch die Axe *b* kleiner, die Axe *c* gröſser wird.

Bei einem andern durchsichtigen Olivinkrystall, den Fig. 12. darstellt, erhielt ich durch fast eben so genaue Messungen, wie vorher, das Verhältniſs:

$$a : b : c = 1 : 1{,}72845 : 1{,}59467;$$

die Axe *b* hat also den veränderlichsten Werth.

Mit den Krystallen der andern Olivinvarietäten konnte ich nicht sehr genaue Messungen anstellen und die Abweichungen in ihren Winkeln, immer auf wenigen Minuten beschränkt, erlaubten nicht einen sehr bestimmten Unterschied der Neigungen bei denselben Flächen festzustellen. Den Werth der in der ersten Spalte nachstehender Uebersicht enthaltenen Winkel habe ich als Mittel zweier oder mehrer Messungen an verschiedenen Krystallen erhalten.

Digitized by Google

Gemessen:	Berechnet:	Bezeichnung:
$A:e = 149^\circ\ 30'$	$149^\circ\ 36',\ 2$	$a,\ b,\ \infty c$
$^*A:e^2 = 130^\circ\ 26'\ 30''$	$130^\circ\ 26',\ 5$	$a,\ \frac{1}{2}b,\ \infty c$
$A:i = 128^\circ\ 29'$	$128^\circ\ 22',\ 7$	$a,\ \infty b,\ \frac{1}{2}c$
$B:o = 144^\circ\ 24'$	$144^\circ\ 20',\ 5$	$\infty a,\ b,\ \frac{3}{2}c$
$B:o^2 = 132^\circ\ 58'$	$132^\circ\ 53',\ 9$	$\infty a,\ b,\ c$
$^*B:o^3 = 114^\circ\ 55'\ 10''$	$114^\circ\ 55',\ 2$	$\infty a,\ b,\ \frac{1}{2}c$
$A:r = 126^\circ\ 0'$	$125^\circ\ 41',\ 3$	
$B:r = 110^\circ\ 5'$	$110^\circ\ 0',\ 7$	$a,\ b,\ \frac{1}{2}c$
$C:r$	$137^\circ\ 26',\ 5$	
$A:n = 120^\circ\ 12'$	$120^\circ\ 7',\ 3$	
$B:n = 126^\circ\ 14'$	$126^\circ\ 4',\ 2$	$a,\ \frac{1}{2}b,\ \frac{1}{2}c$
$C:n =$	$129^\circ\ 19',\ 2$	

Durchsichtiger Krystall:

$A:r = 125^\circ\ 54'$	$125^\circ\ 54'$
$B:r = 109^\circ\ 50'$	$109^\circ\ 50'$
$C:r =$	$137^\circ\ 21'$.

Von den wenigen Flächenarten des Olivins finden sich e, e^2, i, o^2 und n nicht an dem Humit, dagegen o und o^3 an Humiten des ersten Typus. Die Winkel, welche Flächen derselben Art mit der Axe b machen, differiren um 6 oder 3 Minuten. Das Rhombenoctaëder r ist identisch mit r^2 des zweiten und mit r^3 des dritten Typus und der Unterschied zwischen der Neigung ihrer Flächen zur Axe a beträgt nur 7 Minuten.

Eine bedeutendere Verschiedenheit zwischen den Humiten und den Olivinen bedingt die Spaltbarkeit, denn am erstern giebt es nur eine wenig deutliche Spaltungsrichtung parallel der Basis A, an letztern ist die Spaltbarkeit parallel B, doch findet sich auch eine Andeutung von Spaltungsrichtung parallel A.

Unter den durchsichtigen Olivinen fand ich auch Zwillinge, deren Zwillingsebene der Fläche e entspricht, daher fällt auch ein Theil der Flächen r (Fig. 12.) der einfachen Krystalle in dieselbe Ebene, wie bei den Humitzwillingen des zweiten Typus. An aschgrauen Varietäten von Olivin

Digitized by Google

habe ich aufser Zwillingen einige Drillinge beobachtet; aber ihre unvollkommenen Flächen liefsen nicht mit Sicherheit die Erkennung ihrer Zwillingsebene zu.

Vielleicht weisen später die chemischen Analysen die Analogie zwischen Olivin und Humit nach, welche man nach ihrer krystallographischen Aehnlichkeit voraussetzen mufs. Schliefslich verdient noch bemerkt zu werden, dafs Chrysoberyll (Cymophan) in seiner Krystallform dasselbe Verhalten wie Humit und Olivin zeigt, selbst die Art der Zwillingsbildung nicht ausgenommen.

II. *Sechs und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Philosoph. Transact. f.* 1851.)

Fortsetzung von S. 146.

2878. Gehen wir von diesen hypothetischen und verhältnifsmäfsig einfachen Fällen zu den wirklichen über, so müssen wir erwägen, dafs die Intensität und Richtung der Magnetkraft an der Erdoberfläche zwar mit Temperatur- und Dichtigkeitsänderungen der Atmosphäre variiren mufs, aber doch in ganz anderer Weise als es bei der zum Vorbild genommenen Kugel geschehen würde. Indefs ist der Vergleich im Principe stichhaltig, und es steht zu erwarten, dafs, so wie uns die Sonne in Westen verläfst, ein Effect entsprechend dem der Annäherung einer kalten Luftmasse von Osten her erzeugt wird, dafs dieser erst zu-, dann abnimmt, und ihm eine Reihe anderer Effecte folgen, so wie die Sonne wieder aufgeht und warme Luft mit sich bringt.

2879. Die Atmosphäre nimmt nach oben an Dichtigkeit

Digitized by Google

ab, und diese Abnahme wird die Transmission der Magnetkraft afficiren, aber so lange sie constant ist, wird der durch sie erzeugte Effect ebenfalls constant seyn. Der Theil der Erde, welcher unter dem erwärmenden Einfluſs der Sonne liegt, wird hinsichtlich seiner Dicke mehr einen um die Erde gewickelten Luftstreifen (*slice of air*) als einer Luftkugel ähneln. Indeſs wird über oder unter dieser Schicht eine Ablenkung der Kraftlinien erfolgen, die sich oben bis in den Weltraum, und unten bis in die Erde erstreckt (2848), gemäſs dem bekannten Einfluſs der Magnetkraft und dem vollkommen bestimmten Charakter derselben (2809). Wir befinden uns auf dem Boden dieser Luftschicht; allein da die Atmosphäre hier dichter ist als höher hinauf, und auch in vielen Fällen hier mehr von Temperaturänderungen afficirt wird, so befinden wir uns wahrscheinlich in einer Lage, wo die von den vorausgesetzten Ursachen bewirkten Ablenkungen und Veränderungen in bedeutendem Maafse erfolgen.

2880. Es giebt unzählige Umstände, welche jede allgemeine und regelmäſsige (*average*) Anordnung der Lufttemperatur mehr oder weniger stören (*break up*). So z. B. veranlafst die Mannigfaltigkeit des Meeres und des Landes ungleiche Temperaturveränderungen zu verschiedenen Jahreszeiten, und wie weit diefs geht, kann man aus Dove's schönen Isothermen-Karten ersehen, die glücklicherweise jetzt in England zu haben sind [1]). Diese Variationen bewirken vermuthlich nicht blofs Unterschiede in der Regelmäſsigkeit, der Richtung und dem Grade der magnetischen Variation, sondern auch, wegen ihrer Nähe, Unterschiede, die mehrfach gröſser sind, als der mittlere Unterschied für eine gegebene kurze Periode, und so auch können sie Unregelmäſsigkeiten zu den Zeiten ihres Eintretens veranlassen.

2881. Beim Nachdenken über die wahrscheinlichen Resultate der magnetischen Action der Atmosphäre, scheint mir, dafs, wenn die erdmagnetische Kraft von allen periodischen und kleinen Störungen befreit, und für eine gege-

1) *Report of the British Association*, 1848, *Reports p.* 85.

Digitized by Google

bene Zeit beobachtet werden könnte, sie dennoch gewisse Effecte, die einen Theil des atmosphärischen Magnetismus ausmachen, einzuschliefsen vermöchte. So z. B. ist über einem gegebenen Stück der Erdoberfläche unter der Breite von 24° bis 34° mehr Luft, dem Gewichte nach, vorhanden als unter höheren Breiten oder unter dem Aequator, und das mufs in der Anordnung der Kraftlinien einen Unterschied bewirken, welcher auch existirte, wenn Gleichheit in dieser Beziehung vorhanden, oder die Atmosphäre fort wäre. Ferner ist die Temperatur der Luft höher in den Aequatorialgegenden als in nördlichen oder südlichen Breiten; und da Temperatur-Erhöhung das Leitvermögen für Magnetismus vermindert, so mufs der durch diese Regionen gehende Kraft-Antheil geringer, und der durch die kälteren gehende gröfser seyn, als im Fall die Luft über der ganzen Erdoberfläche eine gleiche mittlere Temperatur besäfse oder die Luft fort wäre. Ferner ist die Schwankung der Lufttemperatur bei Erhebung unter dem Aequator gröfser als in anderen Gegenden, und folglich ist der untere Theil kein so guter Leiter im Verhältnifs zum obern Theil oder dem Weltraum als anderswo, wo der Unterschied nicht so grofs ist. Die Magnetkraft mufs sich also daselbst einigermafsen geschwächt erweisen, die Kraftlinien müssen mehr oder weniger abgelenkt seyn, von der warmen Luft nach anderen Theilen hin, z. B. nach der kälteren Atmosphäre und dem Raume darüber oder nach der Erde darunter, gemäfs den zuvor entwickelten Principien (2808. 2821. 2877.)

2882. Das Resultat der *jährlichen Variation*, welches sich von der magnetischen Beschaffenheit der Atmosphäre erwarten läfst, scheint mir folgender Art zu seyn. Angenommen, die Drehungsaxe stehe senkrecht auf der Ebene ihres Umlaufs um die Sonne, und abgesehen von anderen Ursachen der magnetischen Variation, als die von der Atmosphäre herrührenden, so würden die beiden Erdhälften und die sie bedeckenden Luftmassen in gleichem Grade

Digitized by Google

von der Sonne erwärmt werden, oder wenigstens in einen, von der Anordnung des Landes und Wassers abhängigen, relativ constanten Zustand kommen; und die Magnetkraftlinien, welche ihre Lage unter dem Einfluſs der Hauptursachen (*great dominant causes*), worin diese auch bestehen mögen, angenommen hätten, würden durch eine von der Atmosphäre herrührende jährliche Aenderung nicht gestört werden, weil das tägliche Mittel des atmosphärischen Effects an einem gegebenen Ort für alle Theile des Jahres gleich seyn würde. Unter solchen Umständen könnte die Intensität und Richtung der Magnetkräfte als constant angesehen werden, vorausgesetzt, daſs, durch die Verschiedenheit des Abstandes der Erde, in verschiedenen Theilen ihrer Bahn, von der Sonne keine merkliche Veränderung hervorgebracht werden würde; und, was die beiden magnetischen Hemisphären betrifft, würden sie einander aequivalent oder gleich seyn, und als im mittleren oder normalen Zustand befindlich angesehen werden können.

2883. Allein da die Rotationsaxe der Erde um 66° 32′ gegen die Ebene der Ekliptik neigt, so wird von den beiden Hemisphären abwechselnd die eine und die andere wärmer, und daraus entsteht eine Veränderung des magnetischen Zustandes. Die Luft der kälteren Hemisphäre wird den magnetischen Einfluſs leichter leiten als in ihrem Mittelzustand und die Kraftlinien werden in gröſserer Menge durch sie hingehen; während in der anderen Hemisphäre die erwärmte Luft weniger gut leitet als zuvor und daraus eine Abnahme der Intensität erfolgt. Zu dieser Wirkung der Temperatur muſs noch eine andere hinzutreten, nämlich die der Vermehrung der Luft, als Folge ihrer Zusammenziehung in der kalten, und ihrer Ausdehnung in der warmen Hemisphäre; beide Umstände tragen dazu bei, die Abweichung der Kraft vom normalen Zustand in beiden Hemisphären zu vergröſsern. So wie dann die Erde ihren jährlichen Umlauf um die Sonne vollbringt, wird zu einer Zeit die früher kalte Hemisphäre warm, und damit sinkt ihre magnetische Intensität eben so tief unter den Mittelwerth als

Digitized by Google

sie zuvor darüber stand, während in der andern Hemisphäre diese Intensität zunimmt.

2884. Da die Summe der Magnetkräfte, welche von der Erde an einer Seite des magnetischen Aequators ausgehen (*crop out*), entsprechen müssen der Summe einer gleichen Kraft an der andern Seite (2809), so kann diese in einer Hemisphäre nicht intensiver oder in der andern nicht schwächer werden, ohne dafs nicht eine entsprechende Contraction oder Expansion (*enlargement*) erfolgt. Es läfst sich daher erwarten, dafs die ringsum die Erde einschliefsende Linie ohne Neigung sich jedes Jahr abwechselnd nach Norden und nach Süden bewege, oder ein aequivalenter Effect stattfinde. Unter diesem Gesichtspunkt läfst sich der Zustand der beiden Hemisphären begreifen, wenn man annimmt, es finde zwischen ihnen eine jährliche Schwankung der Kraft hin und her statt, während welcher, obwohl weder der Charakter noch die allgemeine Anordnung der Kraft geändert wird, zur Zeit unseres Winters eine Concentration und Vergröfserung der Intensität in den nördlichen Theilen, neben einer Diffusion und Verringerung derselben in den südlichen stattfindet, und im Sommer das Umgekehrte.

2885. Hinsichtlich der *Richtung* lassen sich ebenfalls Veränderungen voraussehen. Angenommen, die magnetischen Pole der Erde fielen mit den geographischen zusammen, so würde zunächst die Neigung in der erkaltenden Halbkugel wachsen in den mittleren und polaren Theilen; allein gegen den magnetischen Aequator hin müfste sie abnehmen, um übereinzustimmen mit der Concentration der Halbkugel von stärkerer Kraft und der Dilatation (*enlargement*) der von schwächerer; wogegen auf der sich erwärmenden Halbkugel die Neigung an den polaren und mittleren Theilen ab-, und nach den magnetischen Aequator hin zunehmen müfste. Während jedes Jahrs würde sich der magnetische Aequator etwas nach Nord und Süd verschieben, zugleich mit dem ganzen System von Magnetlinien. Allein da die magnetischen Pole der Erde nicht zu-

Digitized by Google

sammenfallen mit den geographischen oder den Polen, welche die des Temperaturwechsels genannt werden könnten, so wird daraus eine Verschiedenheit der Richtung entspringen.

2886. Ferner kann seyn, dafs der Sauerstoff beim Erkalten seine parmagnetische Kraft in einem rascheren Verhältnifs verstärkt als die Temperatur abnimmt, und dafs so die Hauptveränderung in der Anordnung der erdmagnetischen Kraft im äufsersten Norden und Süden geschieht. Daraus kann, in Verbindung mit der einhaltenden Kraft (*holding power*) der Erde (2907), sogar die umgekehrte Veränderung von der entspringen, die vorhin in niederen Breiten erwartet wurde. Wenn in unserem Winter die Kraftlinien in den Polargegenden dicht zusammen, und in niedern Breiten weiter aus einander liegen, so ist dabei das Gleichgewicht (*balance*) der Magnetkraft eben so wohl erhalten, wie wenn in unserer Halbkugel *alle* Linien zusammengedrängt und verstärkt, und durch eine entsprechende Veränderung in der südlichen compensirt würden. Im ersten Fall würde jede Halbkugel ihre eigenen Kräfte aufwiegen, im letzteren würde die eine gegen die andere aufgewogen seyn. Es kann, glaube ich, keinem Zweifel unterliegen, dafs sofern die Masse der Erde und der Raum über unserer Atmosphäre in Bezug zur jährlichen und täglichen Variation unveränderlich sind, sie auch streben würden, jede nur vom Wechsel der Temperatur und des Luftzustandes abhängige Veränderung zu dämpfen (*restrain*), gleichsam die beiden Seiten der Veränderungen, die Zu- und Abnahme der Intensität, oder die Abweichung der Richtung nach rechts und links, näher zusammenzuhalten als sie sonst seyn würden.

2887. Angenommen ferner, das Ganze einer Halbkugel werde durch Temperaturveränderung *zugleich* in derselben Richtung afficirt, so wird sie doch *unter verschiedenen Breiten nicht gleich, sondern ungleich afficirt,* weil der Betrag dieser Veränderung verschieden seyn würde.

2888. Die Verschiedenheit von Land und Wasser (2880) wird ferner jede erwartete Gleichförmigkeit des allgemeinen Resultats aufheben, und bewirken, dafs auf der

Digitized by Google

erkaltenden Halbkugel gewisse Theile verhältnifsmäfsig mehr an Stärke zunehmen als andere; und wenn diese Theile auf entgegengesetzten Seiten des magnetischen Meridians eines gegebenen Ortes liegen, so werden sie wahrscheinlich im Stande seyn, die magnetische Declination an diesem Ort zu ändern.

2889. Da die jährlichen Temperaturveränderungen am Aequator geringer sind als in nördlicheren oder südlicheren Theilen, so wird dort vermuthlich eine nur kleine oder gar keine jährliche Variation eintreten, keine in der That durch Veränderung der Temperatur oder Dichtigkeit der Luft, sondern nur derjenige Theil, welcher aus den abwechselnden Veränderungen an den zu beiden Seiten liegenden Gegenden hervorgeht (2884).

2890. Noch ein anderer Effect, der sich als eine jährliche Variation betrachten läfst, aber mit der täglichen verknüpft ist, steht zu erwarten. Da die auf einen gegebenen Ort unter nördlichen oder südlichen Mittelbreiten einwirkenden täglichen Temperaturveränderungen der Atmosphäre im Sommer gröfser sind als im Winter, so läfst sich erwarten, dafs die magnetischen Variationen einen entsprechenden Gang nehmen, in der nördlichen Halbkugel gröfser sind, wenn die Sonne nordwärts vom Aequator steht, und kleiner, wenn sie sich in der südlichen Halbkugel befindet, und dort entsprechende Veränderungen bewirkt.

2891. Aus einer höchst wichtigen, auf die Resultate der Beobachtungen zu Toronto und Hobarton gegründeten Untersuchung des Obersten Sabine[1]) geht hervor, dafs auf beiden Halbkugeln die magnetische Intensität gröfser ist in denjenigen Monaten, die Winter in der nördlichen Halbkugel, und Sommer in der südlichen sind. Aehnliche Resultate von anderen Orten, an denen es sehr fehlt, würden zeigen, ob die verschiedene Anordnung von Land und Meer etwas mit dieser Frage zu thun habe, oder die Resultate

1) *On the means adopted for determining the Absolute Values, Secular Change, and Annual Variation of the Magnetic Force, Philosoph. Transact.* 1850, *p.* 201.

Digitized by Google

von Toronto und Hobarton als wahre Ausdrücke hemisphärischer Effecte zu betrachten seyen. Angenommen Toronto und Hobarton lieferten solche Ausdrücke, so ist die Neigung in beiden Halbkugeln gröfser (d. h. die nördliche zu Toronto, und die südliche zu Hobarton) in denjenigen Monaten, die Winter in der nördlichen, und Sommer in der südlichen Halbkugel sind. Sehr wichtig wäre es, zu ermitteln, ob in den aequatorialen Theilen der Erde eine jährliche Variation der Neigung oder totalen Kraft stattfinde. Es wäre wohl der Mühe werth, eigends deshalb eine Station zu errichten; die Instrumente dazu würden nur sehr einfach seyn und die Beobachtungen nur einen einzigen Beobachter erfordern. Sie sind in dem angeführten Aufsatz beschrieben. Unglücklicherweise sind solche Beobachtungen nicht einmal in Grofs-Britannien gemacht.

2892. Die Art, in welcher die tägliche Variation hervorgebracht oder abgeändert werden mag durch die Wirkung der Sonne auf die Atmosphäre unserer Erde, so wie diese in deren Strahlen rotirt, ist im Allgemeinen schon angegeben worden. Der ganze, der Sonne ausgesetzte Theil der Atmosphäre wird vermögend, die durch ihn hingehenden Strahlen zu brechen (*refract*), und der ganze Theil, welcher die dunkle Halbkugel bedeckt, nimmt, in Bezug auf den mittleren Zustand der Luft, ebenfalls einen andern, aber entgegengesetzten Zustand an. Es ist, wie wenn die Erde von zwei ungeheuren magnetischen Linsen eingeschlossen wäre, welche die Richtung der durch sie hingehenden Magnetkraftlinien abzuändern vermöchten.

2893. Bereits habe ich gesagt, dafs bei Nacht die Wirkung der so afficirten Atmosphäre einigermafsen verglichen werden könnte mit der eines ungeheuren diffusen und sehr schwachen gewöhnlichen Magnets, welcher in der Lage, die er zufolge der Neigungslinie natürlich annähme, von Ost nach West über uns fortginge und uns während der Zeit in seinen Einfluſs einschlöfse; bei Tage würde die Wirkung gleich seyn der einer ähnlichen Reise nicht eines entspre-

Digitized by Google

chenden Magnets von umgekehrter Lage, sondern der einer entsprechenden Kugel von diamagnetischer Substanz (2821). Angenommen das Maximum der Wärme und Kälte träte um Mittag und Mitternacht ein, so dürften wir erwarten, dafs die Maxima der Intensität ebenfalls nahe bei diesen Zeiten erfolgten (2824. 2866); denn unter sonst gleichen Umständen sind die centralen Theile der erwärmten und erkalteten Massen diejenigen, wo der Intensitäts-Unterschied am gröfsten seyn würde.

2894. Diese Variation in der *Intensität* dürfte am gröfsten seyn an den Theilen der Erde, über welche die Sonne ganz oder beinahe lothrecht hinweggeht; doch kann dieses wenigstens von zwei Umständen abhängen: erstens davon, ob der Unterschied zwischen der Tages- und Nachttemperatur gröfser ist als an anderen Orten, denn die Gröfse der Variation kann zum Theil von diesem Unterschied bedingt werden; und zweitens davon, ob der Betrag des zu erwartenden Effects gleich ist in jedem Theil der Scale für einen gleichen Temperatur-Unterschied (2886). Fände sich durch künftige Messungen (2960), dafs das Leitvermögen des Sauerstoffs (2800), beim Sinken durch eine gegebene Zahl von Graden in niederen Temperaturen, stärker wüchse als in höheren (dabei den Effect der Contraction mit eingeschlossen) (2861), so könnten die von der Sonne entfernteren Theile mehr afficirt werden als die unter ihr befindlichen, oder, wenn das Gegentheil der Fall wäre, weniger als sonst zu erwarten stände.

2895. Hinsichtlich der täglichen Variation sind, was die *Richtung* der erdmagnetischen Kraftlinien oder die Inclination oder die Declination der Magnetnadel betrifft, die Grundsätze der zu erwartenden Veränderungen schon angeführt worden (2879), und es bleibt mir nur übrig, diese Erwartungen mit einigen einfachen Fällen der Beobachtung zu vergleichen, so allgemein, um zu zeigen, ob die *Richtung* der Wirkung in Theorie und Erfahrung übereinstimme, und ob der Effect mit einiger Wahrscheinlichkeit auf seine wahre Ursache zurückgeführt worden sey. Zu dem Ende

Digitized by Google

will ich mich für jetzt ganz auf einen Theil der täglichen Variation beschränken, nämlich auf den Effect der Sonne und Luft zur Mittagszeit.

2896. Ich benutze dazu den letzten Band der vom Obersten Sabine mit Sorgfalt herausgegebenen Beobachtungen [1]), nehme den Fall von Hobarton. Das Observatorium daselbst liegt unter 42° 52′, 5 S. Br. u. 147° 27′, 5 Oestl. Länge von Greenwich. Die absolute Declination ist 9° 60′, 8 und die Inclination 70° 39′ S. Um den Stand der Sonne und die Zeit der Maximum- und Minimum-Temperatur beisammen zu haben, habe ich aus den sieben Jahren 1841 — 1848 die Mitteltemperatur des Januars (Sommers) und des Junis (Winters) für jede zweite Stunde des Tages und der Nacht von pp. LXXXIV u. CVIII auf Taf. III übertragen. Auf dieser bezeichnet die mittlere Zahlenreihe die Stunden, und die Linie nächst darunter die Temperatur von 30° F.; die beiden Curven noch tiefer geben die mittleren stündlichen Temperaturen für Sommer und Winter an; die kurzen Striche zeigen die Richtung der Nadel, östlich oder westlich von ihrer Mittellage, wobei das obere Ende das nördliche ist. Die Lagen um Mittagszeit sind durch voll ausgezogene Striche hervorgehoben, da sie einer näheren Erläuterung bedürfen.

2897. Zu Hobarton steht das Nordende der Magnetnadel am östlichsten um 2 Uhr und am westlichsten um 21 Uhr. Von dieser letzten Stunde geht es aus dem äufsersten West innerhalb 5 Stunden bis zum äufsersten Ost, um 2 Uhr, und gebraucht dann die übrigen 19 Stunden um zum äufsersten West zurückzukehren. Die gröfste Abweichung nach Ost und West erreicht es im Sommer um 2 und 21 Uhr, und im Winter um 3 und 22 Uhr. Die verticalen Lagen zeigen, zu welchen Stunden die Declination Null ist und mit Sabine's Nullpunkt übereinkommt. Von 21 bis 2 Uhr geht die Nadel von einem Extrem ihrer Variation zum andern; das nördliche oder obere Ende derselben wan-

1) *Magnetical and Meteorological Observations, Hobarton, Vol. I.* 1850.

Digitized by Google

dert in umgekehrter Richtung wie die Sonne, so dafs beide nahe um Mittag oder etwas früher den Meridian in entgegengesetzten Richtungen schneiden. Um 2 Uhr steht die Nadel still und nun kehrt sie nach Westen zurück, der Sonne folgend. Es ist wohl passend zu bemerken, dafs das Nordende der Nadel, dessen Bewegung so eben beschrieben wurde, das dem Aequator zugewandte Ende und auch das obere Ende der Neigungsnadel zu Hobarton ist. Diese Bemerkung wird jetzt gröfsere Bedeutung erlangen.

2898. Die auf die Nadel wirkende Ursache ist also zur Zeit der Anwesenheit der Sonne kräftiger und concentrirter, als zur Zeit ihrer Abwesenheit. Hier ist folglich die Zeit des Effects in Einklang mit der Zeit, wo die Sonne den stärksten Einfluſs ausüben kann auf diejenigen magnetischen Zustände der Atmosphäre, welche für jetzt als die beherrschenden dieses Effects vorausgesetzt werden.

2899. Aus Fig. 1. Taf. III. erhellt, dafs die Zeit der Maximum-Temperatur nicht zusammenfällt mit dem Stande der Sonne im Meridian, sondern, im Sommer wie im Winter, 2 Stunden später eintritt. Allein was den Einfluſs der Temperatur auf die magnetische Beschaffenheit der Atmosphäre und durch sie auf die Nadel betrifft, so ist es nicht die örtliche Temperatur, welche vorausgesetztermafsen auf die Nadel wirkt, sondern diejenige, welche ungeheure Luftmassen sowohl darüber als darunter afficirt, und über welche uns die örtliche Temperatur, wie wichtig sie auch seyn mag, wenn wir sie erst gehörig auslegen können, wenig oder gar keine Auskunft giebt. Doch giebt es einige Punkte, zu welcher die Temperatur eine directere Beziehung hat. So ist der Betrag der Temperatur-Variation im Sommer doppelt so grofs als im Winter und in eben dem Verhältnifs wächst der Betrag der Declinationsveränderung (2890). Die Minimumtemperatur tritt im Winter später als im Sommer ein, und die äufserste westliche Declination erfolgt zur letzten Jahreszeit auch später.

2900. Die veränderliche *Richtung* der erdmagnetischen Linien erkennen wir durch Beobachtungen in zwei

Digitized by Google

Ebenen, einer horizontalen, auf welche die Declination bezogen wird, und einer verticalen, durch die mittlere Declinationslinie gelegten, welche uns die Inclinationsbeobachtungen liefert. Die Richtung der Kraftlinie, bezogen auf diese Ebene, könnte sich so verändern, dafs die Inclination entweder zu- oder abnähme, und sie nimmt in derselben Stunde örtlicher Zeit an einigen Orten zu, in welcher sie an anderen abnimmt. So wächst sie zu Greenwich während sie zu St. Helena, welches fast unter demselben Meridian liegt, abnimmt. Zu Hobarton verändert sie sich rasch an den östlichen und westlichen Extremen der Variation, d. h. um 2 und 21 Uhr. Vom Mittag nimmt sie rasch ab bis etwa 3 Uhr, bleibt dann nahe dasselbe im Sommer, wenn die Variation am gröfsten ist, bis 18 oder 19 Uhr, und wächst von dieser Zeit bis etwa 22 Uhr, von wo ab bis Mittag sie fast ein Maximum ist. Daraus erhellt, dafs die Inclination insgemein am gröfsten ist, während das Nordende der Nadel zwischen 21 und 2 Uhr rasch von Westen nach Osten wandert, und am kleinsten, während der übrigen oder längeren Hälfte der Wanderung. Der später zu betrachtende Nacht-Effect wird diefs Verhalten zwar theilweis unterbrechen, aber im Allgemeinen tritt es immer hervor.

2901. Alles dieses wird durch Fig. 25. Taf. I. (2909) im Rohen vorgestellt. Darin bezeichnet *OW* den Stand der Sonne während ihres täglichen Ganges zwischen den Tropen um 21^h, 22^h, etc., und *e* den Weg, den zu Hobarton das nördliche oder obere Ende der frei aufgehängten, also Declination und Inclination zugleich, d. h. die volle Richtung anzeigenden Nadel beschreibt. Sieht man auf eine solche Nadel hinab, so wird ihr oberes Ende den durch den Pfeil bezeichneten Gang beschreiben, und ihre Lage zu einer gegebenen Stunde wird hinlänglich durch die Zuglinien angegeben.

2902. Diese Beziehung zwischen der Bewegung der Nadel und der der Sonne ist längst bekannt gewesen; sie ist für meine Hypothese von der physischen Ursache dieser Variationen von grofser Bedeutung. Rücksichtlich des von

Digitized by Google

mir betrachteten Theils der Wirkung ist es, wie wenn ein Magnetpol, von gleicher Natur mit dem obern Ende der Nadel zu Hobarton, mit der Sonne aufginge und zunächst dieses Ende nach Westen triebe. Gegen 19^h nimmt die Tendenz nach Westen ab, aber die Tendenz nach Süden wächst. Um 21^h ist die Zunahme der Sonnenkraft, die nicht direct von der Sonne, sondern von einer Region der Atmosphäre unterhalb derselben ausgeht, nicht hinreichend, eine Compensation für ihre ungünstigere Lage zu bewirken; die Nadel wird in ihrer Declination durch die Kraft der Erde zurückgebracht und sie geht dann ostwärts; allein die südliche Bewegung oder die Inclination nimmt noch zu; um 24^h oder Mittag ist die Sonne gegen östliche und westliche Declination indifferent, aber kräftig in ihrer südlichen Wirkung, und sie macht dann oder bald hernach die Inclination zum Maximum. So wie nun die Sonne westlich von der Nadel geht, wächst eine Weile ihr Vermögen, den hinter ihr befindlichen Pol ostwärts zu treiben, während das Vermögen zur Erzeugung von Inclination abnimmt, bis um 2 oder 3 Uhr die Kraft der Erde wieder das Uebergewicht erlangt so wie die Kraft der Sonne wegen der Entfernung abnimmt; die Nadel kehrt dann zu ihrer kleinsten Inclination und mittleren Declination (*towards its least dip and mean inclination*) zurück.

2903. Alles dieses läfst sich experimentell nachahmen, indem man einen Magnetpol nördlich von der Neigungsnadel so herumführt, dafs er den Ort der von der Sonne erwärmten Luft zu Hobarton vorstellt, vorausgesetzt, dafs der Pol von gleicher Art sey wie der Nord- oder obere Pol der Nadel. Bereits (2877. 2863) habe ich gesagt, dafs wenn eine Luftportion im Magnetfelde erwärmt wird, sie ihr magnetisches Leitvermögen verliert, und wenn sie mit einer weniger erwärmten Luft zusammenkommt die Linien ablenkt und den Zustand annimmt, welchen ich als diamagnetische Leitungspolarität unterschieden habe; dann die wahre Polarität oder vielmehr die wahre Inflection der Kraftlinien darbietend, welche die Nadel afficiren würden, wie

Digitized by Google

sie afficirt wird. So wie die Sonne aufgeht und nordwärts von solchen Ort wie Hobarton geht, wird unter ihrem wachsenden Einfluſs die Atmosphäre immer wärmer und ausgedehnter, und, bezogen auf die Luftkugeln-Modelle (2864. 2877) ist es, wie wenn eine solche warme Masse mit der Sonne durch alle Regionen des Aequators ginge, sich dabei auch nord- und südwärts von demselben ausdehnte, und, Hobarton in ihren Einfluſs einschlieſsend, die daselbst beobachteten Effecte hervorbrächte.

2904. Diese Ansicht liefert einen Grund, warum die Nadel, während die Sonne durch ihren Meridian geht, in so kurzer Zeit von West nach Ost zurückkehrt, und so lange Zeit zu dem Gange von Ost nach Westen gebraucht, so wie der Einfluſs der Sonne langsam abnimmt und dann während des übrigen Theils der Tagreise langsam wieder erneut wird, abgesehen dabei für jetzt von den paramagnetischen Effecten der Kälte.

2905. Ich will nun die tägliche Variation zu Toronto betrachten, wie sie uns in dem ebenfalls aus den Händen des Obersten Sabine hervorgegangenen Bande von magnetischen Beobachtungen [1]) und in späteren bis 1848 reichenden Nachträgen, die ich demselben verdanke, dargeboten wird. Das Observatorium liegt unter 43° 39′ 35″ N. und 79° 21′ 30″ W. Die absolute Declination daselbst ist 1° 21′ 3″ W. und die mittlere oder absolute Inclination 75° 15′ N.; in Bezug auf Hobarton liegt es auf der andern Seite des Aequators und beinahe an der andern Seite der Welt. Das Resultat für die Monate Juni und December ist auf Taf. III. Fig. 2. graphisch dargestellt, entsprechend mit dem von Hobarton (2896), unter Anwendung der Toronto-Zeit für die Stunden.

2906. Das Nordende der Nadel, das wir in der Regel bei der Declination ins Auge fassen, nimmt zu Toronto während der unmittelbaren Sonnenwirkung folgenden Lauf. Nachdem es sich von 16^h an ostwärts bewegt hat, erreicht es darin um 20^h sein Maximum, kehrt dann um und erreicht

1) *Magnetical and Meteorological Observations. Toronto* 1840, 41, 42.

Digitized by Google

in 6 Stunden sein westliches Extrem, worauf es sich wieder ostwärts, von der Sonne ab bewegt. Verwandeln wir dieſs aber in die Bewegung des aequatorialen Endes der Nadel, denn das ist das obere Ende der Nadel, wenn sie frei ist, und es interessirt uns am meisten bei dem Vergleiche mit Hobarton, so sieht man, daſs dieses Ende um 19^h oder 20^h am westlichsten steht, von da an rasch ostwärts geht, den ganzen Bereich der Variation innerhalb 6 Stunden durchwandert, also um 2^h das östliche Extrem erreicht und nun umkehrt und der Sonne folgt.

2907. Bei diesen Resultaten möchte ich wiederholen, was ich zur Erläuterung der Hobertoner Erscheinungen gesagt habe, aber Kürze halber will ich bloſs auf sie verweisen. Wie dort ist der Betrag der Veränderung bei der Declination im Sommer doppelt so groſs wie im Winter. Der Temperatur-Unterschied ist drei Mal gröſser. Die Extreme der Declination nach Westen und Osten fallen im Sommer wie im Winter auf 20^h und 2^h; allein die Zeit des Maximums und Minimums der Kälte ist, wie zuvor gesagt, in beiden Jahreszeiten verschieden, denn die erstere fällt im Sommer auf 4^h und im Winter auf 2^h, die letztere dagegen im Sommer auf 16^h und im Winter auf 20^h. Dieſs ist jedoch eine Variation mit Consistenz (*variation with consistency*); denn man wird bei augenblicklicher Ansicht ersehen, daſs im Winter das Maximum der Wärme in der einen Richtung gegen die Zeit der kräftigsten Wirkung vorrückt, und das Minimum in der andern. Der Durchgang der Sonne durch den Meridian und die Periode der schnellsten Bewegung der Nadel von West nach Ost fallen also noch zusammen.

2908. Das andere Element der Richtung ist die Inclination. Ihre Veränderung ist sehr klein, aber doch vorhanden. Das hauptsächlichste Maximum der Neigung fällt auf 22^h, das äuſserste Minimum auf 4^h.

2909. So können wiederum alle Effecte, wie zu Hobarton, allgemein durch eine Ellipse vorgestellt werden (Fig. 25. Taf. I.) und ich könnte das dort Gesagte wieder-

Digitized by Google

holen, wenn ich Toronto statt Hobarton, und Nord statt Süd setzte (2901). So wie die Sonne in ihrem Laufe aus Osten zwischen die beiden Punkte kommt, treibt sie, durch die unter ihr veränderte Atmosphäre, die oberen Enden ihrer Nadeln vor sich hin und auswärts der Linie ihres Ganges, wie wenn sie gegen den Hobarton-Magnet ein Nordpol, und gegen den Toronto-Magnet ein Südpol wäre. Um 22^h erlaubt die Kraft der Erde und die aus der Lage der Sonne entspringende Wirkung der Atmosphäre eine Rückkehr nach Ost, obwohl die Inclination noch eine Zeit lang wächst (2902); beide (Nadeln) schwingen rasch herum von West nach Ost, so wie sie (die Sonne) durch den Meridian geht, und nachdem sie (wohl die Declinationsnadel *P*) das Maximum ihrer östlichen Lage erreicht hat, folgt sie ihr (der Sonne) unter dem Einflufs der Erdkraft, der beim Rückzug der Sonne immer weniger entgegen gewirkt wird. Die Aehnlichkeit zwischen Hobarton und Toronto ist so auffallend, dafs schon Obrist Sabine sie besonders unterschieden und beschrieben [1]), auch gezeigt hat, dafs wenn man für beide Orte die Richtung der Bewegung durch Curven darstellt, diese beiden Curven, wenn man sie aufeinander legt, fast zusammen fallen, mit dem einzigen Unterschied, dafs die Veränderungen zu Hobarton denen zu Toronto um eine Stunde örtlicher Zeit oder mehr vorausgehen.

2910. Wir können diesen Tages-Effect auf zwei solche Nadeln wie die zu Hobarton und Toronto nicht experimentell durch einen Magnetpol repräsentiren, wohl aber können wir es für jede einzeln mit verschiedenen Polen. Wir sehen indefs zugleich aus der Hypothese, warum die Sonne in dieser Weise wirkt (2877) und wie es geschieht, dafs die Region der influencirten Atmosphäre, welche sie auf ihrer Tagesreise um die Erde begleitet, den einen Effect in nördlicher Breite und den andern in südlicher ausübt (2903). Auch die Gründe für die kurze Zeit der Tagesreise und für die lange Periode der nächtlichen Rückkehr (2904) sind einleuchtend. Das Vorkommen von Störun-

1) *Hobarton Magnetical Observations* 1850. *p. XXXV.*

Digitized by Google

gen oder secundären Kraftwellen zur Nachtzeit und die Bedingung sowohl der Hauptvariation als der untergeordneten Oscillationen im Sommer und Winter sollen späterhin betrachtet werden.

2911. Greenwich. — Die folgenden Resultate sind genommen aus dem Bande der Greenwicher Beobachtungen für 1847. Die Sternwarte liegt unter 51° 31′ N., in der Länge fast um 80° von Toronto entfernt, also dieser Station und auch der zu Hobarton hinreichend entgegengesetzt. Die mittlere Declination ist 22° 51′ 18″ W. und die mittlere Inclination 69° N. Da es das obere Ende der Nadel ist, welches wir zu dem Zweck eines leichten Vergleichs mit der beobachteten Tageswirkung der Sonne zu betrachten haben (2906), so will ich diesen Theil seines Laufs beschreiben, in Greenwicher Zeit. Nachdem es sich vor 19^h und 20^h westwärts bewegt hat, kehrt es nach Ost zurück, und in 6 Stunden, oder um 1^h oder 2^h hat es seine gröfste Sonnenschwingung vollendet; dann kehrt es nach Westen zurück und folgt der Sonne. Die verticale Kraft ist zwischen 3 und 4^h am gröfsten und zwischen 11 und 13^h am kleinsten. Das Südende der Nadel ist deshalb zu der ersteren Zeit mehr aufgerichtet als zur letzteren; und da die letztere die längere Rückkehr des Ganges von Ost nach West umfafst, auch die Nachtstunden einschliefst, so sehen wir, dafs das obere Ende der Nadel während seiner Tagesreise eine unregelmäfsig geschlossene Curve beschreibt, welche durch die Ellipse für Toronto Taf. I. Fig. 25. (2909) im Allgemeinen repräsentirt werden kann; es geht in den Nachtstunden langsam von Ost nach West, nähert sich zugleich dem Aequator und kehrt dann mit weit gröfserer Schnelligkeit von West nach Ost zurück, dabei sich in gröfserem Abstande vom Aequator und näher dem Pole haltend.

2912. Washington (Vereinigte Staaten). — Breite 38° 54′ N., Länge 77° 2′ W., mittlere Abweichung 1° 25′ W., mittlere Neigung 71° 20′ N. Das südliche oder obere Ende der Nadel ist des Morgens, um 20 oder 22^h, am Westlichsten, und um 2^h am Oestlichsten; dann kehrt es langsam

Digitized by Google

nach Westen zurück, verhält sich des Nachts wie an den vorhergehenden Orten und erlangt um 20 oder 22^h wieder den westlichsten Stand. Diefs ist, in Bezug auf den Gang der Sonne, genau dieselbe Declinations-Bewegung wie an den früheren Orten. Wie sich die Inclination verändert, weifs ich nicht, allein der Theorie nach wäre zu schliefsen, dafs sie zwischen 22 und 2^h am gröfsten, und am Abend, sowie in der Nacht, am kleinsten ist. Der Gesammtbetrag der Declinationsveränderung ist, wie zuvor, im Sommer am gröfsten, im Juli 9′ 87″ und im December 4′. Bei der Erdtemperatur fällt der gröfste Unterschied auch in den Juli, beträgt dann nahe 20° F., wogegen er im December nur 10° F. beträgt. Die kürzeste Periode zwischen den extremen Temperaturen, welche daher den schnellsten Temperaturwechsel einschliefst, geht von 16 oder 18^h bis 2^h, und schliefst folglich den Mittag ein. Alle diese Umstände vereinigen sich, die gröfste magnetische Wirkung hervorzubringen, und diese erfolgt in der von unserer Hypothese angezeigten Richtung.

2913. Athabasca-See. — Breite 53° 41 N., Länge 111° 18′ W., mittlere Abweichung 28° O. Die Beobachtungen umfassen nur 5 Monate; allein da sie wegen der hohen nördlichen Lage des Orts für künftige Betrachtungen wichtig seyn können, so will ich hier die Resultate angeben. Das obere Ende der Nadel ist um 17 oder 18^h am Westlichsten und um 1 oder 2^h am Oestlichsten, so dafs, was die Declination betrifft, die Wirkung der Sonne und der Atmosphäre sich wie in den früheren Fällen verhält. Der Betrag der Declinationsveränderung ist sehr grofs, im October 21′,32, im November 10′,8, im December 9′,78, im Januar 16′,29 und im Februar 14′,87.

2914. Fort Simpson. — Breite 61° 52′ N., Länge 121° 30′ W., mittlere Declination 38° O. Diese Beobachtungen umfassen nur 2 Monate, nämlich April und Mai 1844. Das obere oder südliche Ende der Nadel war um 19^h am Westlichsten und um 2^h am Oestlichsten, also vollkommen übereinstimmend mit den vorhergehenden Beobachtungen

Digitized by Google

und Folgerungen. Der Betrag der Declinationsveränderung war sehr grofs, 36′, 26 im April und 32′ im Mai.

2915. St. Petersburg. — Breite 59° 57′ N., Länge 30° 15′ O. von Greenwich, mittlere Abweichung 6° 10′ W., mittlere Neigung 70° 30′ N. Die Beobachtungen sind das Mittel von 6 Jahren und zeigen, dafs das obere Ende der Nadel, in Bezug auf Mittag, um 19 und 20^h am Westlichsten ist in den Monaten März bis August, und dafs es für die übrigen Monate um dieselben Stunden eine westliche Lage giebt. Die östlichste Lage fällt in allen Monaten, auf etwa 1½ Uhr, so dafs die Sonnenwirkung beim Durchgang durch die Mittagsperiode wie in den früheren Fällen erfolgt. Die Declinationsveränderung ist am gröfsten im Juni, 11′, 52, und schrumpft im Winter auf 1′, 77 zusammen. Der Theorie nach steht zu erwarten, dafs die Neigung bei Tage wachse und bei Nacht abnehme.

2916. Diese Fälle, welche zu einer ersten und vorläufigen Prüfung der Hypothese ausgewählt wurden, da sie die Haupt-Umstände der täglichen Variation und der Sonnenwirkung einschliefsen, sprechen also übereinstimmend, so weit sie reichen, zu Gunsten der Hypothese, die ich für ihre Ursache aufgestellt habe; in Betreff der Sonnenwirkung habe ich bis jetzt noch keinen Fall von nur scheinbarem Widerspruch aufgefunden. Sie unterstützen sehr, sich eine genaue Vorstellung von der Art zu bilden, in welcher der Einflufs der Sonne und der Luft muthmafslich wirkt, nicht allein in ähnlichen Fällen, sondern auch in Betreff anderer Folgerungen, d. h. in allen, welche beim atmosphärischen Magnetismus in Betracht kommen. Ich will daher die Prinzipien, welche sie der Hypothese nach regieren, specieller angeben, in der Hoffnung, dafs ich so glücklich seyn werde, die *wahre physische Ursache* der fraglichen magnetischen Variationen nach und nach entwickeln zu helfen.

2917. Der blofse, von Materie freie Raum gestattet der magnetischen Kraft den Durchgang (2787. 2851). Para- und diamagnetische Körper erhöhen oder schwächen diese Durchgänglichkeit (2789). Diesen Einflufs habe ich einst-

Digitized by Google

weilen mit dem Worte: magnetisches Leitungsvermögen bezeichnet, und ich glaube hinreichende erste experimentelle Beweise von dem Daseyn dieses Vermögens und dessen störende Wirkungen auf die Magnetkraftlinien gegeben zu haben (2843). Die Atmosphäre ist durch ihren Sauerstoffgehalt ein paramagnetisches Medium (2861. 2863) und ihr Leitungsvermögen wird durch Temperaturerhöhung (2856) und durch Verdünnung (2782. 2783) sehr geschwächt, wie durch den Versuch genügend bewiesen wurde. Die Sonne ist ein Agens, welches die Atmosphäre zugleich erwärmt und verdünnt; und bei ihrem täglichen Lauf mufs im Allgemeinen der Ort der gröfsten Wärme und Verdünnung unter ihr liegen. Unregelmäfsigkeiten in der Beschaffenheit der Erdoberfläche und andere Ursachen bewirken örtliche Abweichungen davon, allein wahrscheinlich verschwinden sie theilweis, wenn nicht gänzlich, in den oberen Regionen der Atmosphäre.

2918. Nehmen wir an, *die Luft unter der Sonne* werde am meisten magnetisch verändert, und beschränken uns auf eine Stelle, wo die Sonne vertical ist, um den Zustand der Atmosphäre dort und an anderen Theilen in Bezug auf sie zu betrachten, so wird die Voraussetzung einer Luftkugel über der Stelle natürlich keine passende Anwendung finden (2877). Wir wollen zunächst annehmen, die Sonne sey weit weg und die Atmosphäre in einem mittleren Temperaturzustand; lassen wir dann die Sonne im Meridian eines gegebenen Orts stehen, so haben wir es zu thun mit dem *Grade der Veränderung* in Temperatur und Ausdehnung der Luft unter und rings um den Ort der Sonne und mit der Weise, wie sie entsteht und vergeht. In Bezug zur Oberfläche der Erde wird diese Veränderung irgendwo unter der Sonne am gröfsten seyn, und ringsum in jeder Richtung abnehmen, bis sie, in directer Wirkung, an dem Theile oder Kreise der Erde, wo die Sonnenstrahlen tangential sind, fast Null wird. Hinsichtlich der senkrechten Richtung ist es noch die Frage, ob die Wirkung an der Oberfläche am gröfsten sey und nach oben abnehme.

Digitized by Google

Was die Atmosphäre betrifft, so mufs sie natürlich mit ihr enden, aber hinsichtlich des Raumes selbst (2851) kann noch ein Bedenken entstehen. Der Einflufs der Sonne auf die entgegengesetzte Halbkugel erzeugt direct keine Störung, wohl aber indirect durch das Sinken der Lufttemperatur von dem Grade an, auf welchem sie durch die Sonne, während sie über dem Horizonte war, gebracht ward. Diese Veränderung mufs träger, unregelmäfsiger und durch örtliche und andere Umstände gestörter geschehen als die andere durch den directen Einflufs der Sonne hervorgebrachte, und sie veranlafst, der Hypothese nach, das zweite Maximum oder Minimum oder andere Perioden, welche die Nadel in den Nachtstunden zeigt.

2919. Die von einem Magnet ausgehenden Kraftlinien sind gleichsam an ihren Wurzeln befestigt (*located and fixed by their roots*), in einer Weise, welche von Denen, die über den Gegegenstand gearbeitet haben, experimentell wohl aufgeklärt (*understood*) ist. In derselben Weise werden die Linien, welche von der Erde, je nach der Gröfse der Neigung, mehr oder weniger steil (*suddenly*) ausgehen, unten durch eine Kraft festgehalten (*held beneath by a force of location*), und, weil die Wirkung der Erde in Bezug auf die der Atmosphäre unverändert bleibt, werden sie, während die letztere sich verändert, unten mehr oder weniger gegen Veränderungen geschützt. Diese Befestigung in der Erde ist eine Haupt-Ursache gewisser Eigenthümlichkeiten bei den atmosphärischen Erscheinungen, wie wir sie beobachten; und sie bewirkt jene Drehung der Kraftlinie um die mittlere Lage, welche wir schon während der Sonnen-Schwingung betrachtet haben, und wiederum bei der Wirkung der Luft antreffen. Diese Befestigung der Kraftlinien an ihren unteren Theilen findet sich an jedem Ort, wo irgend eine Neigung vorhanden ist, und giebt für jeden den Convergenzpunkt, um welchen die Bewegung des oberen Endes der Nadel stattfindet (2909. 2932).

2920. So ruht denn die Atmosphäre auf der Erde, unter dem Einflufs der Sonne, am meisten unterhalb dieser ver-

Digitized by Google

ändert. Sie hat das Vermögen erlangt, die Magnetkraftlinien zu afficiren in anderer Weise als sie dieselben in Abwesenheit der Sonne afficirte. Sie ist zu einer grofsen magnetischen Linse geworden, welche diese Linien zu brechen vermag, und zwar in einer Weise, die folgender Art zu seyn scheint. Alle durch diese erwärmte und ausgedehnte Luft gehenden Linien werden, weil dieselbe ein schlechterer magnetischer Leiter als die sie umgebende nicht so stark erwärmte Luft ist (2861. 2862), sich nach auswärts biegen, (2807), und die erwärmte Luftmasse wird als Ganzes den Zustand von diamagnetischer Polarität annehmen. Wenn man also, der Einfachheit wegen, die magnetischen Pole der Erde mit den geographischen zusammenfallen läfst und Fig. 26. Taf. I. einen durch sie und die Sonne gelegten Durchschnitt vorstellt, so werden *N* und *S* die Magnetpole seyn, und die verschiedenen den Umfang des Kreises schneidenden Curven werden hinreichend den Lauf der Magnetlinien an der Erdoberfläche vorstellen, sobald *H* die Sonne ist und *a* der gerade unter ihr liegende Punkt, welcher auch mit dem magnetischen Aequator zusammenfällt. Diese Zeichnung erläutert auch den hypothetischen Effect auf die Inclination der Nadel.

2921. Betrachten wir zunächst den Punkt *a* und nehmen noch an, das Maximum der Veränderung in der Luft sey immer an der Erdoberfläche, so werden wir finden, dafs dort die Kraftlinien sich auswärts biegen (*open out*), einigermafsen ihre parallele und concentrische Relation behaltend. Eine Magnetnadel also, die sich frei in jeder Richtung bewegen kann und deshalb ihre Lage *in* der Kraftlinie annimmt, wird an diesem Ort nicht in ihrer Lage geändert werden. Vielleicht müfste sie eine Abnahme der durch diesen Ort gehenden Magnetkraft anzeigen; allein aus dem zuvor (2868) angeführten Grunde schliefse ich, dafs sie eine gröfsere Intensität anzeigen würde, indem die erhöhte Kraft, welche durch die Abnahme des Leitungsvermögens der Luft an diesem Ort auf sie geworfen wird, sie veranlafst als eine stärkere Nadel zu wirken.

2922.

Digitized by Google

2922. Gehen wir zu einem Punkt *b*, so haben daselbst die Kraftlinien schon eine Neigung. Sie erleiden hier denselben physischen Effect wie zuvor d. h. die Portionen in der Atmosphäre sind auswärts gebogen; allein weder hier noch in dem früheren Fall werden sie fortwährend dieselbe Krümmung haben wie zuvor, denn zuwärts und in der Erde, wo sie ihren Ursprung nehmen, werden sie durch die unveränderliche Kraft der Erde (2919) mehr oder weniger gehindert sich zu verändern, während sie an mehr nach vorne liegenden Theilen, wie bei *c*, in Portionen der Atmosphäre eintreten, welche den intensivsten Linien der Sonnenwirkung, *HC*, näher sind, wahrscheinlich auch in die Region der intensivsten Wirkung und auch in den Weltraum, Umstände, welche bewirken, dafs die Linien sich mehr verschieben und durch die Spannung der in der Luft veränderten Theile sich mehr zu trennen suchen als *in* der Erde geschehen kann (2848). So werden die Magnetkraftlinien bei *b* sich nicht parallel mit sich selbst bewegen, sondern, weil sie im normalen Zustand eine gewisse Neigung gegen den Horizont haben, stärker geneigt werden d. h. durch die Anwesenheit der Sonne eine stärkere Neigung bekommen. Diese Thatsache ergiebt sich aus der Nadel, wenn sie durch die Bewegung ihres oberen Endes zu Hobarton, Toronto oder sonstwo die Lage der Linie in Bezug auf Inclination anzeigt (2908); denn es ist klar, dafs was auch an der einen Seite des Sonnenorts und des magnetischen Aequators geschehen möge, auch an der andern geschieht, sobald beide, wie wir annehmen (2920), zusammenfallen.

2923. Leichter läfst sich die Sache fassen, wenn man sagt, die Wirkung der Sonne gehe dahin, die Magnetcurven, über den aequatorialen und benachbarten Theilen, aus ihrer normalen Lage zu heben, und dabei die nördliche und südliche Neigung zugleich zu afficiren und zu vergröfsern.

2924. An dem Orte *d* müssen gleiche Effecte auf die Inclination bewirkt werden, und theoretisch genommen in

Digitized by Google

derselben Richtung selbst bei *N* und *S*. An dem Punkt *a* wird die Inclination voraussetzlich gar nicht geändert; so wie man aber nach Norden oder Süden geht, treten die Aenderungen auf und nehmen zu. Es ist nicht wahrscheinlich, dafs das Maximum der Veränderung bei *N* oder *S* stattfinden werde, vielmehr mufs die Breite, wo es eintritt, abhängen von den vielen vereinten Umständen, die bei einer Kugel vorkommen, um welche eine magnetische Linse, wie ich dieselbe zu beschreiben versuchte, beständig rotirt.

2925. Statt anzunehmen, die Sonne sey in *H*, wollen wir voraussetzen, wir sähen senkrecht auf die Zeichnung und nach Osten, die Sonne käme von Osten, ginge über unser Haupt und brächte diejenige Beschaffenheit unserer Atmosphäre mit, welche die Ursache der Veränderung ist. So wie sie dieses thut, heben sich alle magnetischen Curven, und die Inclination nimmt zu, bei *b*, *d* und überall, wo zuvor eine vorhanden war, zu beiden Seiten von *a* in entgegengesetzten Richtungen. Diefs dauert so lange bis die Sonne im Zenit ist; so wie sie dann fortgeht und hinter uns niedersinkt, ziehen sich die Linien wieder zusammen und die Neigung nimmt ab zu dem, was sie früher war. Die Neigung erreicht ihr Maximum, wenn die Sonne dem Zenit nahe ist, und ihr Minimum, wenn sie ganz fort ist.

2926. Wenn sich aber die Resultante der Kraft über der Atmosphäre befände (2937), was bei weitem das wahrscheinlichste ist, so würden die Resultate modificirt werden, da es die gesammte Atmosphäre ist, die durch Wärme diamagnetisch wirkt; denn wenn über *a* die Kraftlinien *herabgedrückt* würden und daselbst die Inclination abnähme, möchte sie in *b* zur Zeit nicht afficirt werden, während sie in höheren Breiten zunähme, je nachdem die Kraftlinie von der Resultante in der Atmosphäre, wo sie auch seyn möchte, auswärts oder einwärts des Winkels fiele, welchen die Neigung an einen gegebenen Ort mit dem Horizonte macht. St. Helena, das Cap und Hobarton liefern Beispiele von diesen drei Fällen.

Digitized by Google

2927. Zur selben Zeit würde die totale Kraft eine Veränderung in ihrem Betrage erleiden; die durch einen gegebenen Raum gehende würde am kleinsten seyn, wenn die Sonne im Zenit stände, und am gröfsten, wenn sie fort wäre (2863). Die gesammte Veränderung würde bei *a* am gröfsten seyn, und von da nach Norden und Süden abnehmen. Die täglichen Variationen der Inclination sind bis jetzt noch so unvollkommen bekannt, dafs wir nicht zu sagen vermögen, wie weit sie mit diesen Erwartungen übereinstimmen; allein so weit die Beobachtungen reichen, stimmen sie mit der Theorie.

2928. Wenn die Sonne, statt über dem Aequator zu stehen, über einem der Wendekreise steht, und zwar lothrecht, z. B. über *b*, so werden die Effecte modificirt seyn. Die Resultante noch wie oben angenommen, steht zu erwarten, dafs die zuvor nicht afficirten Kraftlinien herabsinken und die Inclination schwächen, während andere Linien in höheren Breiten, welche zuvor in Neigung anwuchsen, jetzt nur wenig afficirt werden, und andere Linien in noch höheren Breiten ihre Neigung vergröfsern. Auf der andern Seite des Aequators würden die Linien die Tendenz haben, die Neigung zu vergröfsern.

2929. Schreiten wir nun zu demjenigen Theil der erwarteten Veränderung in der Lage der freien Nadel, welcher die Variationen der Declinationen bewirkt; sey *er*, (Fig. 27. Taf. I.) der Gang der Sonne am Aequator und *tc*, *t'c'* derselbe unter den Wendekreisen, ferner *mr* ein magnetischer Meridian, und *aa'*, *ii'*, *oo'* Orte von gleicher nördlicher und südlicher Inclination zu beiden Seiten des Aequators. Die in Fig. 26 von vorn gesehenen Curven sind nun in der Ebene des magnetischen Meridians, können aber als zu beiden Seiten des Aequators aufsteigend und über ihm zusammenfliefsend angesehen werden. Befände sich die Luft an allen Seiten in ihrem mittleren Zustand, und wäre die Sonne ganz abwesend, so würden diese Curven in der verticalen Ebene *mr* liegen, oder wenn die Sonne am Mittage so stände, dafs die Resultante der erwärmten und

Digitized by Google

veränderten Atmosphäre im Meridian *m r* läge, würden wohl Inclinationswirkungen eintreten (2922), diese Curven aber doch in derselben Vertical-Ebene bleiben. Befände sich aber diese Resultante östlich oder westlich von *mr*, so würden Variationen der Declination entstehen. Denn gesetzt die Sonne rücke aus Osten oder *r* vor, so würden, weil sie der Luft einen diamagnetischen Zustand ertheilt, die Kraftlinien sich zu expandiren suchen (2877) und deshalb westwärts gehen, wie es in dem Meridian *ns* vorgestellt ist; die daselbst bewirkte Ablenkung würde am gröfsten an der Erdoberfläche seyn, weil dort die Curven, in die Erde eindringend, festgehalten werden in ihrer normalen Lage (2919). So wie die erwärmte Luft anlangt, würde die westliche Ablenkung wachsen bis zu gewissem Grade, und dann bis Null abnehmen, wenn die Resultante im Meridian wäre; allein so wie die letztere darüber fortginge, würde die Ablenkung an der Ostseite von *n s* wachsen, und, nach Erreichung eines Maximums, abnehmen, und aufhören, so wie die warme Luft sich zurückzöge.

2930. Läge die Bahn der Sonne auf dem nördlichen Wendekreis *t c* und folglich die Resultante in der Atmosphäre nördlich von der Station *a* oder *i*, so würde diefs zwar in der Gröfse der Declinationsveränderung einen Unterschied machen, aber nicht in ihrer Richtung, denn die Curven *a a'* und *i i'* würden bei Heraukunft der Sonne noch nach Westen ausbiegen, und würden im Meridian liegen, wenn auch die Resultante sich hier befände. Der Effect würde in *i* gröfser als in *i'* seyn, allein die Entgegengesetzheit der Neigung rücksichtlich des Orts der Sonne würde die Richtung der Declinationsveränderung nicht ändern.

2931. Eine kalte Luftregion, die, wie bei hereinbrechender Nacht, auf die Magnetkraftlinien der Erde wirkte, würde, vermöge ihres paramagnetischen Charakters (2865) entsprechende Effecte sowohl auf die Inclination als auf die Declination ausüben, aber in entgegengesetzter Richtung.

2932. Die Kraftlinien, welche überall, wo es eine In-

Digitized by Google

clination giebt, von der Erdoberfläche ausgehen, werden, zufolge der Hypothese, unter dem täglichen Einfluſs der Sonne, mit ihren aufsteigenden Theilen eine geschlossene Curve oder einen unregelmäſsigen Kegel bilden, dessen Scheitel unten liegt. Als Thatsache ist dieſs sehr wohl bekannt, allein die Uebereinstimmung mit der Hypothese ist wichtig für die letztere. Die freie Nadel wird ihre mittlere Lage in der Axe dieser Curve oder dieses Kegels haben, und ihre Rückkehr, in Declination oder Inclination, zu dem Mittel ist eine wichtige Anzeige von der Gröſse und Lage der veränderlichen Kräfte, welche zu solchen Zeiten auf sie einwirken.

2933. Meine Hypothese nimmt durchaus nicht an, daſs die erwärmte oder erkaltete Luft magnetisch werde, und nach Art eines Stücks Eisen direct auf die Magnetnadel wirke, entweder polar oder inductiv. Es wird für den Sauerstoff der Luft keine andere Polarität angenommen als die Leitungspolarität (2822. 2835), als Folge einer schwachen Aenderung in der Richtung der Kraftlinien. Die Veränderung in dem magnetischen Leitvermögen bewirkt diese Ablenkung der Linien, gerade wie ein schlechter Wärmeleiter bei Einführung in ein besser leitendes Mittel die vorher gleichmäſsige Fortpflanzung der Wärme stört, und derjenigen, welche geleitet wird, eine neue Richtung giebt; oder wie bei der statischen Elektricität ein Körper von mehr oder weniger specifischer Inductiv-Capacität, bei Einführung in ein gleichförmiges Medium, die zuvor gleichmäſsig durch dasselbe gegangenen Kraftlinien stört.

2934. Die bloſse Wirkung der Atmosphäre geht dahin, die Kraftlinien zu biegen. Die Nadel wird von diesen Linien gehalten, ist ihnen parallel, wenn sie frei ist, und ändert ihre Lage mit denselben. Es ist nicht einmal nöthig, daſs die Linien, deren Richtung unmittelbar durch die veränderte Luft afficirt wird, dicht an der Nadel liegen; sie können vielmehr sehr fern seyn. Die Gesammtheit der Magnetlinien um die Erde wird durch gegenseitige Spannung zu einem sensitiven Systeme verknüpft, welches nirgends

Digitized by Google

Trägheit (*sluggishness*) besitzt, sondern eine irgendwo eingetretene Veränderung überall fühlt. Es kann und wird eine neue Vertheilung der Kraft erfolgen, aber keine Vernichtung (*suppression*). So wird, wenn nah oder fern eine Veränderung in der Richtung eintritt, die Nadel an einem gegebenen Ort dieselbe fühlen und anzeigen, mehr oder weniger stark, je nach der Nähe des Orts und der Art der Veränderung. Allein gleichzeitig ist die Anordnung des ganzen Systems verändert und deshalb werden auch alle übrigen Nadeln ergriffen, in Gemäfsheit der Veränderung, welche die sie individuell beherrschenden Kraftlinien erleiden.

2935. Die Nadel ist eine Waage, woran alle Magnetkraft rings um einen gegebenen Ort sich anhängt, selbst bis zu den Antipoden, und sie zeigt für jeden Ort jede Veränderung in der Gröfse und Anordnung derselben, mag sie nun nah oder fern eintreten. Ihre mittlere Lage ist ihre normale; und in Bezug auf atmosphärische Aenderung ist es die Befestigung der Kraftlinien in der Erde (2919), welche (abgesehen von den säcularen Aenderungen) diesen Linien eine normale Lage giebt, und sie sowohl wie die Nadel aus dem gestörten Zustand in den normalen zurückführt. Daher ist es denn bei Betrachtung der Ursachen, welche die Declination oder Inclination stören, wichtig, die mittlere Lage der Nadel (2932) ins Auge zu fassen und nicht blofs die Richtung ihrer Bewegung.

2936. So ist, nach meiner Hypothese, die wohlbekannte Wirkung der Sonne auf die Nadel eine sehr indirecte. Die Sonne an einem gegebenen Ort afficirt die Atmosphäre; die Atmosphäre afficirt die Richtung der Kraftlinien; die Kraftlinien afficiren die in jeder Ferne liegenden, und diese afficiren die respective von ihnen beherrschten Nadeln.

2937. Der Bequemlichkeit wegen habe ich bei Betrachtung einer speciellen Wirkung der Atmosphäre von der von dem Daseyn der Sonne abhängigen Resultante in der Atmosphäre gesprochen, und will es auch noch ferner eine Weile, ohne damit eine directe Wirkung dieser Resultante

Digitized by Google

oder des sie liefernden Theils der Atmosphäre auf die Nadel (2933) zu verstehen, um zu erwägen, in welcher Höhe sie wahrscheinlich in der Luft gelegen sey. Dafs sie nicht an der Oberfläche der Erde liegen könne, ergiebt sich aus der Depression der Linien und der Abnahme der Neigung zu St. Helena und Singapore während der Mitte des Tags; und dafs sie nicht einmal unter der Sonne liege, erhellt aus der Weise, in welcher die gröfste Wirkung einigermafsen der Sonne vorausgeht, wie zu Hobarton, Toronto und anderen Orten, in verschiedenem Zeitbetrage; die gröfste Wirkung erfolgt weder zur Zeit des Standes der Sonne im Meridian, noch zu der (späteren) des beobachteten Temperatur-Maximums, sondern etwas vor beiden Momenten. Die durch die Sonne in der Luft bewirkten Temperatur-Veränderungen finden unten und oben nicht gleichzeitig statt. Die oberen Luftregionen über einem gegebenen Ort werden von der Sonne bei und nach ihrem Aufgange afficirt, ehe die Luft unten afficirt wird. Die an der Erde beobachtete Temperatur zeigt uns nicht den gleichzeitigen Gang der oberen Veränderungen an, und kann eine sehr unvollkommene Kenntnifs davon gewähren. Unten liegt das Temperatur-Maximum oft zwei, drei oder vier Stunden hinter der Sonne, wogegen die Atmosphäre die direct von den Sonnenstrahlen empfangene Wärme weit schneller annehmen mufs. Es ist sehr wahrscheinlich, ja fast gewifs, dafs in den Sommermonaten die Temperatur noch um 4 oder 5 Uhr Nachmittags in den oberen Regionen steigt, während sie an der Erdoberfläche durch Ausstrahlung und andere Ursachen schon sinkt. Die in einigen Theilen Indiens und selbst in unseren Gegenden wohlbekannte Kältewirkung kurz vor Sonnenaufgang ist dieser Voraussetzung günstig. Erinnern müssen wir uns, dafs es nicht die absoluten Temperaturen der Luft an einem Orte sind, welche magnetische Variationen hervorrufen, sondern Temperatur-Unterschiede zwischen ihr und den umgebenden Regionen. Obwohl die oberen Regionen kälter als die unteren sind, können die Veränderungen in ihnen eben so

Digitized by Google

grofs oder gröfser seyn; sie erleiden Temperaturschwankungen (*range*), welche vermuthlich einflufsreicher sind als höhere Schwankungen (*range*) (2967), und was wichtig ist, sie treten schneller und directer bei Gegenwart der Sonne ein. Die Wärmemenge, welche die Atmosphäre direct von den Sonnenstrahlen aufnehmen kann, wird angezeigt durch die verschiedenen Verhältnisse, welche wir von ihnen empfangen, wenn sie lothrecht oder schief zu uns gelangen, und somit mehr oder weniger Luft durchdringen; und nach Sonnenuntergang befinden sich die oberen Theile der Luft unter weit günstigeren Umständen zur Erkaltung durch Ausstrahlung als die unteren. So können die End-Veränderungen eben so grofs und gröfser seyn als unten, und doch lernen wir von ihnen, ihrer Ordnung oder Zeit, wenig durch die Temperaturbeobachtungen an der Erdoberfläche. Es läfst sich also für magnetische Effecte, wie die Depression der Kraftlinien zu St. Helena etc., aus physischen Ursachen nachweisen, warum der Hauptsitz der Wirkung oben seyn müsse.

2938. Bei dem Mittags-Effect geht das obere Ende der Nadel, auf seiner Rückkehr nach Osten, gewöhnlich eher durch die mittlere Lage (2935) als die Sonne westwärts durch den Meridian geht. In Toronto ist es etwa eine halbe Stunde voraus; auf St. Helena und in Washington anderthalb Stunden, in Greenwich und Petersburg zwei Stunden; und in Hobarton und am Cap der guten Hoffnung erfolgt der Durchgang um Mittag. Dergleichen Resultate scheinen anzudeuten, dafs der Ort der Maximumwirkung vor der Sonne liege, und wahrscheinlich ist dem so, doch nicht so sehr als man wohl zuerst vermuthet, wie ich glaube aus den folgenden Betrachtungen erhellen wird.

2939. Das Vorangehen der Zeit des Wirkungsmaximum mag zum Theil von einem Umstand wie der folgende abhängen. So wie die Sonne gegen einen Meridian vorrückt und ihn durchschneidet wird die Temperatur zuerst steigen und dann sinken, und das bewirkt an verschiedenen Orten die Verschiedenheiten, von welchen die magnetischen

Digitized by Google

Variationen abhängen. Allein diese hängen auch ab von der *Plötzlichkeit* der Verschiedenheiten und der Nähe, wo sie eintreten. Zwei Luftmassen von gleichen Temperaturunterschieden werden demnach die Kraftlinien stärker afficiren, wenn sie einander und der Nadel näher sind, als wenn sie weit davon liegen. Und ferner, wenn eine Luftmasse an einem Theile eine gewisse niedere Temperatur besitzt und, bei horizontaler Bewegung, erst rasch eine gewisse hohe Temperatur erhebt und dann langsam zu der früheren niedrigen herabsinkt, wird sie, wenn sie eine Reihe von Kraftlinien durchschneidet, dieselben vorn und hinten in entgegengesetzten Richtungen afficiren, am stärksten aber an der rasch veränderten Seite.

2940. Nun mufs die Luft, als erhitzt durch die Sonne, sich in diesem Zustande befinden. Nach Analogie mit starren und flüssigen Körpern werden die Temperaturänderungen, welche sie erleidet, wenn man sie der Wärme aussetzt und dann entzieht, beim Steigen rascher seyn als beim Sinken, und so werden die Veränderungen in den vorangehenden Theilen rascher geschehen als in den nachfolgenden. Dazu kommt der Effect der Erwärmung der Atmosphäre durch die Erde; denn da diese die Wärme langsamer annimmt, wie aus der Zeit der Maximum-Temperatur hervorgeht, so werden ihre Effecte der oberen Luft allmälig mitgetheilt, und nach Fortgang der Sonne verzögern sie das Erkalten derselben und vergröfsern den schon erwähnten Effect. Aus diesen Betrachtungen erhellt, dafs der stärkste Effect und die gröfste Variation westlich von der Sonne, und die nachfolgende oder schwächere Wirkung östlich von derselben liegen mufs. Die mittlere Lage der Nadel während der ganzen Veränderung würde der Sonne vorausgehen.

2941. Hr. Broun hat die tägliche Variation in verschiedenen Höhen beobachtet, nämlich zu Makerstoun und auf dem fast eine halbe (engl.) Meile höheren Gipfel der Cheviot Hills; er fand, glaube ich, keinen Unterschied in der Intensität, sah aber die Veränderung (*progress*) an der oberen Station *früher* eintreten. Es würde interessant seyn,

Digitized by Google

oben ein Observatorium zu errichten, allein um die erforderlichen Resultate zu finden, müfste man Luft, aber keine starre Substanz unter sich haben.

2942. Es giebt einen andern Umstand, welcher auf die *Zeiten* des Eintritts (*times of passages*) der Declinationsveränderung wesentlich einwirkt. Wenn zwei, im Norden und Süden des Aequators liegende Orte gleiche Neigung und entgegengesetzte Abweichung haben (*i. e. if both their upper ends point east or west*), so müssen die Effecte einander entsprechen und ein Paar bilden. Allein wenn beide eine östliche oder westliche Abweichung haben (damit, wie gewöhnlich, die des Nordendes der Nadel gemeint) so müssen die schon beschriebenen Veränderungen eintreten, so wie die Sonne zwischen ihnen hindurchgeht, allein in der *Zeit* würde ein Unterschied seyn. So wie die Sonne erscheint und heranrückt, werden die Nadeln *a* und *b* (Fig. 28. Taf. I.) höchst wahrscheinlich zusammen afficirt: allein, wenn beide Orte eine östliche Abweichung haben, wird der südliche, wenn sie näher kommt (*draws nigh*), früher und zugleich stärker afficirt, und nach einer mehr oder weniger langen Zeit wird an dem andern Orte eine entsprechende Wirkung folgen. Denn da die Nadeln zur Zeit, da sich die Sonne in ihren magnetischen Meridianen befindet, aus der ersten Hälfte der Reihe ihrer Veränderungen zu 0° zurückgekehrt sind, und der Eintritt in den Meridian der südlichen Nadel früher erfolgt als in den der nördlichen, so mufs die südliche in ihren Veränderungen der nördlichen voraus seyn. Wäre die Declination an beiden Orten westlich, würde die nördliche Nadel der südlichen vorauseilen.

2943. Die aufgestellte Hypothese rücksichtlich der Bewegungen der Nadeln stimmt nicht blofs im Allgemeinen mit den Thatsachen überein, und wird es auch, wenn meine Hoffnungen begründet sind, bei sorgfältigeren Vergleichungen im Speciellen, sondern stimmt auch mit der *Gröfse* der Kraft, die zu den in gegebenen Stunden beobachteten Declinationen erforderlich ist. Ich habe mich bemüht, experimentelle Beweise von dem Unterschied der Wirkung des

Digitized by Google

Sauerstoffs und des Stickstoffs auf die der Erdkraft unterworfenen Nadeln zu erlangen, aber bisher vergeblich. Diefs ist jedoch nicht überraschend, da eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol unter denselben Umständen ebenfalls kein Resultat gab. Vielleicht geben empfindlichere Apparate ein positives Resultat.

2944. Dafs kleine Sauerstoffmengen keine Anzeige von der Wirkung der gesammten Atmosphäre geben, wird nicht überraschen, wenn man erwägt, wie aufserordentlich grofs diese Masse ist und wie ungeheure Strecken sie einschliefst von den Curven, vermöge welcher sie, der Hypothese nach, wirkt, und dafs dennoch die Wirkung aufserordentlich klein ist. Die gröfste Declinationsveränderung (*the extreme declination*) zu Greenwich beträgt 12′, gleich etwa 4′ 24″ der östlichen und westlichen Aenderung der freien Nadel, und das wäre das Ganze, was man zu erklären hätte. Schwerlich kann man erwarten, dafs kleine Sauerstoff- und Stickstoffmengen, die nur in einer Länge von wenigen Zollen auf die durch sie gehenden magnetischen Curven wirken, einen solchen Effect zeigen, wenn nicht Apparate von aufserordentlicher, fast unendlicher Empfindlichkeit angewendet werden; allein aus dem, was ich gesehen, wenn Sauerstoff von verschiedener Verdünnung (2780) oder von verschiedener Temperatur (2861) mit einander verglichen wurde, bin ich zu glauben veranlafst, dafs die Wirkung der Sonne auf den in der Atmosphäre vorhandenen zuletzt für hinreichend zur Hervorbringung dieser Variationen gefunden werden wird.

2945. Wo die Luft eine Temperatur- oder Volumsveränderung erleidet, da ändert sie die Richtung der Kraftlinien, und diese, vermöge ihrer Spannung, übertragen die Wirkung auf entferntere Linien (2934), deren Nadeln demgemäfs afficirt werden. Die fortgepflanzte Wirkung wird stärker oder schwächer seyn, je nachdem die Entfernungen kleiner oder gröfser sind, und daher kann eine Veränderung in der Nähe die in der Ferne überwiegen; eine nahe Wolke mag momentan mehr bewirken als die aufgehende Sonne. Das sind die unregelmäfsigen Variationen. Die Aus-

Digitized by Google

dehnung ihres Einflusses ergiebt sich sehr gut aus den photographischen Aufzeichnungen von Greenwich und Toronto. Der Band der Greenwicher Beobachtungen von 1849 enthält ein photographisches Bild von den Veränderungen der Declination vom 18. bis 19. Febr. 1849. Zwischen 6 und $7\frac{1}{2}$ ändert sich dieselbe um 16′ in 18 Zeitminuten oder um nahe 1′ in jeder Zeitminute. Im Mittel beträgt die Veränderung für denselben Tag 1′,95 in zwei Stunden oder 1 Sekunde für jede Zeitminute, so dafs die unregelmäfsige Variation (welche als eine locale in Bezug auf die Sonnenkraft zu der Zeit betrachtet werden kann) sechzig Mal gröfser ist als der Effect der grofsen Resultante; überdiefs hatte sie entgegengesetzte Richtung, ging von Ost nach West, während die mittlere Variation von West nach Ost ging.

2946. Eine andere Art zu zeigen, wie die Wirkung näher gelegener Theile der Atmosphäre die der ganzen überwältigt und versteckt, besteht darin, dafs man durch eine photographische Darstellung wie die erwähnte die Linie der mittleren Variation zieht. Dann wird man sehen, wie gering der mittlere Effect auf die Nadel ist, verglichen mit dem unregelmäfsigen und verhältnifsmäfsig localen Effect für denselben Zeitmoment. Der Magnet, welcher zu diesen Beobachtungen diente, war ein Stahlstab von 2 Fufs Länge, 1,5 Zoll Breite und 0,25 Zoll Dicke, folglich nicht für plötzliche Eindrücke empfänglich; ein kurzer Magnet würde wahrscheinlich viele Fälle zeigen, wo die unregelmäfsige Variation mehrere hundert Mal gröfser wäre als die mittlere. Indefs würden alle diese Unregelmäfsigkeiten und überwiegenden Einflüsse näherer Massen eliminirt, wenn man aus mehrjährigen Beobachtungen das Mittel nähme; dadurch würde ein wahres Resultat erhalten, auf welches die ausgesprochene Hypothese angewandt und geprüft werden könnte.

2947. Kehren wir für eine Weile zu der jährlichen Variation (2882) zurück: ein guter Theil derselben ist schon bei der täglichen Variation discutirt worden. Die Anordnung der magnetischen Effecte nach den Monaten, wie sie

Digitized by Google

von Sabine für Hobarton, Toronto, St. Helena u. a. O. ausgeführt, erweist sich ungemein lehrreich und wichtig, besonders für Orte zwischen und nahe den Wendekreisen. Sie liefert für die jährliche Variation diejenige Art von Analysis, welche für die tägliche durch die Stunden gegeben wird. Jeder Monat erzählt uns, durch den Vergleich seiner Curve mit denen anderer Monate, seine eigene Geschichte, während er seinen Vorgänger und Nachfolger mit einander verknüpft.

2948. Ich werde später Gelegenheit nehmen, diese monatlichen Mittel zu betrachten, will indefs bemerken, dafs der durch diese Mittel angedeutete Effect des jährlichen Heranrückens und Zurückweichens der Sonne mit der Hypothese von nahen und fernen Wirkungen übereinstimmt (2945). Hobarton und Toronto liegen auf entgegengesetzten Halbkugeln, so dafs die Sonne, wenn sie sich dem einen nähert, von dem andern entfernt, und demnach ändert sich die Gröfse der Variationen in entgegengesetzter Richtung. Diefs zeigt der Durchschnittswerth für jeden Monat, bei Hobarton nach siebenjährigen, und bei Toronto nach zweijährigen Beobachtungen:

	Hobarton, 42°, 52′,5 S.		Toronto, 43° 39′ 35″ N.	
Januar	11′,66		6′,51	
Februar	11,80		6,40	
März	9,50		8,50	
April	7,26		9,52	
Mai	4,56		10,34	
Juni	3,70	Winter	11,99	
Juli	4,61		12,70	Sommer
August	5,89		12,68	
September	8,24		9,72	
October	11,01		7,59	
November	12,05	Sommer	5,75	
December	11,81		4,47	Winter.

Die beiden Stationen weichen in der Breite nur um 47′ von einander ab, und der äufserste Unterschied des atmosphärischen Effects zwischen Winter und Sommer ist

Digitized by Google

eben so gering, beträgt für Hobarton, welches unter der höheren Breite liegt, 8',35 und für Toronto 8',23.

2949. Nach Dove ist die nördliche Hemisphäre im Juli um 17°,4 F. wärmer, und im Winter nur 10°,7 kälter als die südliche. Die Zahlen sind folgende:

Juli.	Nördl. Halbkugel	71°,0	62°,3	Ganze Erde.
	Südl. «	53 ,6		
Jan.	Nördl. «	48 ,8	54°,15	« « .
	Südl. «	59 ,5		

Das Mittel des ganzen Jahres ist 59°,9 für die nördliche und 56°,5 für die südliche Halbkugel. Deshalb ist, wie Dove ferner zeigt, die ganze Erde im Juli, wann die Sonne auf die Land - Wasser - Theile (*terraqueous parts*) scheint, 8° wärmer als im Januar, wo sie über den Wasser-Regionen steht; und aus derselben Ursache ist das Mittel für die südliche Halbkugel 3°,4 geringer als das Mittel für die nördliche. Der Unterschied zwischen Januar und Juli beträgt für die nördliche Halbkugel 22°,2 und für die südliche nur 5°,9. Diese Unterschiede sind so eigenthümlich in ihrer Anordnung und so grofs in ihrem Betrage, dafs sie einen Einfluſs auf die Vertheilung der magnetischen Kräfte der Erde haben müssen; allein die Data sind noch nicht hinreichend, die Resultate davon anzugeben. Sabine hält es aus seiner Analyse der Beobachtungen für wahrscheinlich, dafs die Summe der erdmagnetischen Intensität gröfser ist, wann die Sonne in den südlichen Zeichen steht, d. h. während unseres Winters (2891). Ich würde diefs der Theorie nach erwarten, wenigstens an den Orten, wo die Neigung nicht sehr grofs ist; denn eine kältere Atmosphäre mufs die Magnetkraftlinien besser leiten, und deshalb müssen die Systeme um die Erde sich zu der Zeit in den kälteren Theilen gleichsam condensiren. Es ist jedoch zweifelhaft, ob die Nadel diesen Unterschied anzeige, denn die Kraftlinien würden nicht, wie in dem früher (2922) vermutheten Fall, oben zurückgehalten seyn (*be restrained above*), sondern könnten sich aus dem Weltraum frei zusammenziehen

Digitized by Google

(*gather in*). Aus dem Gesagten geht jedoch hervor, dafs ein solcher Schlufs nur aus Beobachtungen, die gleichmäfsig auf beiden Halbkugeln angestellt sind, mit einiger Zuverlässigkeit gezogen werden kann.

2950. Gelangen wir jemals zu einer genügenden Kenntnifs der jährlichen Variation an mehreren Stationen in verschiedenen Theilen beider Hemisphären, so würden wir Data bekommen, nach welchen die Tiefe des Sitzes der Magnetkraft beurtheilt werden könnte; denn da diese Kraft durch die jährlichen Temperaturveränderungen (2884) voraussichtlich auf sehr grofsen Erstreckungen der Erdoberfläche Schwankungen erleidet, so würden diese an Charakter und Ausdehnung verschieden seyn, je nachdem der Ursprung der Linien sich mehr oder weniger tief gelegen erwiese.

2951. Rücksichtlich der vielen Variationen der Magnetkraft, die nicht periodisch sind oder nicht so abhängen von der Sonne, welche indefs die schon (2945) erwähnten unregelmäfsigen und überwiegenden Veränderungen, wie ich voraussetze, in Folge localer Störungen der Atmosphäre hervorruft: so mag es mir erlaubt seyn, meine Gedanken darüber mitzutheilen.

2952. Die *Veränderung des Druckes* der Atmosphäre auf einen gegebenen Theil der Erdoberfläche mufs eine Variation an diesem Theil der Erde hervorbringen. Sie ergiebt sich durch einen Unterschied von 3 Zoll Quecksilberhöhe oder als ein Zehntel des Gewichts der Atmosphäre. Nun ist der Sauerstoff in einem gegebenen Raum paramagnetisch nach Verhältnifs seiner Menge (2780), und deshalb scheint es nicht möglich, dafs diese Menge an einer gegebenen Stelle der Erdoberfläche, sie mag nun wie zuvor nach dem Volum, oder nach dem Gewicht in einem gegebenen Volum an der Erdoberfläche betrachtet werden, bis zu einem Zehntel des Ganzen variire, ohne dafs nicht entsprechende Veränderungen in der Vertheilung der Magnetkraft dadurch bewirkt werden. Bei Erhöhung der Quantität oder des barometrischen Drucks ziehen sich die Linien zu-

Digitized by Google

sammen und die Kraft wird intensiver; bei Verringerung des Drucks erfolgt das Umgekehrte.

2953. An jedem Ort gegen die Gränzen des Raumes hin, wo der Luftdruck zu- oder abnimmt, werden wahrscheinlich Veränderungen in der Richtung der Kraftlinien eintreten, vorzüglich an solchen Orten, die zwischen zwei anderen liegen, an deren einem die Atmosphäre sich anhäuft, während sie an dem andern sich zurückzieht. Ob diese Veränderungen (welche, wie ich glaube, erfolgen müssen) durch ihre Nähe hinreichend grofse Effecte erzeugen, um an unseren magnetischen Instrumenten merkbar zu werden, ist eine späterhin zu lösende Aufgabe. Die Ursache anzudeuten ist nützlich, weil die Kenntnifs von dem Daseyn, der Natur und Wirkung derselben auf die Mittel führt, ihre Wirkungen am besten zu beobachten.

2954. *Winde und grofse Strömungen in der oberen Luft* mögen oft, wenn sie nur einige Zeit anhalten, von magnetischen Veränderungen begleitet seyn. Eine beständige Strömung, wie der Passatwind, mag einen beständigen Effect ausüben; wenn aber, während die Anordnung der Magnetkraftlinien in der Atmosphäre, gemäfs deren Beschaffenheit zu der Zeit, sich in einem gegebenen Zustande befindet, ein Wind entsteht, welcher kalte und warme Luftmassen mit einander vermischt, oder die Luft in einer Gegend dichter als in einer anderen macht, oder, indem er von einer zur anderen geht, Gegenden ausgleicht, die zuvor in verschiedenen Zuständen waren, so wird jede solche Veränderung begleitet seyn von einer entsprechenden Veränderung in der Anordnung der Magnetkraft, welche wir vielleicht künftig durch unsere magnetischen Instrumente ausmitteln werden. Selbst Fluth und Ebbe müssen eine Wirkung ausüben, obwohl sie viel zu gering seyn mag, um sichtbar gemacht zu werden.

2955. Die Fällung von *Regen* oder *Schnee* ist theoretisch ein Grund zur Veränderung der magnetischen Verhältnisse des Raumes, worin sie stattfindet; weil sie die Temperatur ändert und eine Menge verdünnender diamagnetischer

Digitized by Google

magnetischer oder neutraler Materie aus demselben entfernt. Ein kühler (*chilling*) *Hagelschauer* könnte im Sommer auf die Nadel wirken. *Wolken* mögen in mehrfacher Weise einen merklichen Einfluſs ausüben, zuweilen durch ihre Verschiedenheit von den benachbarten heiteren Luftschichten, zuweilen durch Absorption der Sonnenstrahlen und Entwicklung einer merklichen Wärme in verschiedenen Höhen und an verschiedenen Orten der Atmosphäre oder durch mehr oder weniger groſse Verhinderung ihrer Entwicklung an der Erdoberfläche. Diejenigen wärmeren oder kälteren Luftmassen, von welchen die Meteorologen sprechen, und welche wegen ihrer Durchsichtigkeit nicht sichtbar sind, üben eine verhältniſsmäſsige Wirkung aus. Und theoretisch gesprochen, wäre es nicht absolut unmöglich, daſs die warme und theilweise desoxydirte Luft einer groſsen Stadt, wie London, die Instrumente in der Nachbarschaft afficirte, und, wenn dem so ist, würden sie dieselben zu verschiedenen Zeiten ungleich afficiren, je nach der Richtung des Windes.

2956. Wenn man sich an der Erdoberfläche einen Fleck denkt, welcher daselbst die Resultante der atmosphärischen Actionen darüber vorstellt, und betrachtet deren Lauf, wie sie unter dem Einfluſs der verschiedenen, zum Theile angeführten Ursachen hin- und herwandert, während sie noch mit der Sonne fortgeht; so kann man sich eine Idee bilden von der Weise, wie sie die auf der Erde vertheilten Observatorien afficirt. Ich glaube daſs ihre Bahn, was die östliche und westliche Richtung der Wanderungen betrifft, sich zum Theil in den photographischen Aufzeichnungen, von Greenwich und Toronto ausspricht, jedoch gemischt mit anderen Veränderungsursachen. Dieser Fleck kann concentrirt oder diffuse seyn, kann fortgehen und anderswo wieder erscheinen; ja es kann deren gar zwei oder mehrere geben, hinreichend stark um die Nadel zwischen ihnen in Schwingungen zu versetzen.

2957. Das Nord- oder Südlicht kann schwerlich unabhängig seyn von der magnetischen Beschaffenheit der Atmosphäre, da es in den Regionen derselben und vielleicht

Digitized by Google

in dem Raume darüber vorkommt. Der Ort des Nordlichts ist im Allgemeinen unter denjenigen Breiten, deren Luft durch Temperatur- und Quantitätsunterschiede eine bestimmte magnetische Relation zu der unter dem Aequator hat, und beide, das Polarlicht und das Medium, worin es vorkommt, sind durch magnetischen Charakter mit einander verknüpft; es wird uns daher wahrscheinlich zu einem bessern Verständnifs des ersteren führen, wenn wir das letztere beachten und einigermafsen zu kennen suchen. Das Polarlicht ist schon verknüpft mit magnetischen Störungen und Stürmen, und dereinst mag es auch in einer bis jetzt noch nicht vorauszusehenden Weise mit den Veränderungen der Atmosphäre verknüpft werden.

2958. Können Humboldt's magnetische Gewitter von atmosphärischen Veränderungen herrühren? Diefs ist eine Frage, auf welche ich Folgendes bemerke. Gesetzt, es wäre ein magnetischer Rest in der Atmosphäre, und es wären alle örtlichen oder unregelmäfsigen Variationen zur Zeit unverändert geblieben; wenn dann an einem Ort eine Veränderung einträte, so würde sie augenblicklich überall auf der ganzen Erde verspürt werden, im Verhältnifs zur Entfernung von dem Orte der Veränderung. Sie würde augenblicklich verspürt werden, weil der Impuls hauptsächlich oder wesentlich nicht durch die Masse der Erde oder Luft, sondern durch den Raum darüber fortgepflanzt würde; denn die Linien daselbst würden in demjenigen ihrer Theile, welcher durch die Atmosphäre geht, Veränderungen erleiden, und, wie ich mir denke, auf die übrigen Linien im Raume rings um unsere Erdkugel einwirken, und diese würden ihrerseits ihre zur Erde herabgehenden Theile afficiren, welche die Nadeln beherrschen. Im Weltraum, wo die Magnetkraftlinien nicht mit Materie verknüpft sind (2787. 2917), denke ich mir, werden die Veränderungen derselben mit der Schnelligkeit des Lichts oder gar mit der höheren Schnelligkeit oder Instantanität fortgepflanzt, welche wir für die Linien der Gravitationskraft annehmen; und wenn dem so

Digitized by Google

ist, würde eine magnetische Störung an einem Ort instantan auf der ganzen Erde verspürt werden.

2959. Allein die Schwierigkeit ist: sich eine atmosphärische Veränderung zu denken, die ausgedehnt und plötzlich genug wäre, um sich unter den vergleichend localen Variationen, die fortwährend stattfinden, überall zu derselben Zeit bemerklich zu machen. Wenn indefs in diesen Störungen, durch die Opposition entgegengesetzter Kräfte, ein Stillstand (*lull*) zur selben Zeit an zwei oder mehreren Orten einträte, könnten jene Orte einen gleichzeitigen Störungseffect zeigen, und diefs selbst dann, wenn die Ursache an dem Orte, wo sie vorkäme, wenig oder gar nicht merkbar wäre. Eine gleichzeitige Aenderung über einen Flächenraum von 600 oder 800 (engl.) Meilen im Durchmesser könnte in der Mitte dieses Raumes eine geringere Aenderung hervorbringen als an den Enden der Radien von 1000 Meilen.

2960. Es wird eine schöne Principfrage, in wiefern Luftmassen vermöge der sie durchdringenden Magnetkraft bewegt werden können. Wenn zwei Volume Sauerstoff von verschiedener Dichtigkeit einem kräftigen Magnet mit intensivem Kraftfelde unterworfen werden, ist die mechanische Verdrängung des einen durch das andere sehr auffallend. Ob in der Natur die ungeheure Gröfse der betreffenden Luftvolume und der Unterschied in der Intensität der erdmagnetischen Kraft unter den verschiedenen Breiten, wo sie vorkommen, im Verein mit dem Temperatur-Unterschied, hinreichend seyen, den geringen Sauerstoffgehalt der Luft und die kleineren Dichtigkeitsschwankungen zu compensiren, ist eine Frage, die sich für jetzt nicht beantworten läfst. Das Differential-Bewegungsresultat ist, wie gezeigt, sehr grofs, wogegen das directe Resultat, wie das der Compression, nicht nur sehr klein, sondern Null ist (2774. 2750), und die Atmosphäre ist eine Region, wo es sich um die Differential-Wirkung enormer Massen handelt.

2961. Was nun den Unterschied in der Intensität be-

Digitized by Google

trifft, so schliefsen Gay-Lussac und Biot aus ihren Beobachtungen [1]), dafs die Magnetkraft in einer Höhe von vier (engl.) Meilen dieselbe sey wie an der Erdoberfläche. Allein Hr. Kupffer zieht aus Gay-Lussac's Beobachtungen den Schlufs, dafs dort eine geringe Abnahme stattfinde, und Prof. Forbes folgert aus seinen in verschiedenen Theilen von Europa gemachten Versuchen, dafs die Kraft nach oben zunehme [2]). Eine solche Abnahme mag die Folge des gröfseren Abstandes von der Quelle der erdmagnetischen Kraft seyn, oder was wahrscheinlicher ist, mag davon herrühren, dafs der Sauerstoffgehalt dort ein anderer wie an der Erdoberfläche ist. Nach Gay-Lussac's Angabe, hatte die von ihm herabgebrachte Luft 0,5 von der Dichte der unteren. Folglich würde die dem Raum des oberen Orts, von dem die Luft genommen ward, hinzugefügte paramagnetische Kraft nicht mehr als die Hälfte von derjenigen seyn, welche unten durch die Gegenwart der dichteren Atmosphäre hinzugefügt wird. Diefs glaube ich mufs einen Unterschied in der Vertheilung der Magnetkraft machen, fast sicher unter dem Aequator, wo die Kraftlinien parallel sind der allgemeinen Richtung der Atmosphäre (2881), und für die horizontale Componente, auch unter der Breite, unter welcher Gay-Lussac und Biot ihre Luftreisen machten. Es ist auch ebenso möglich, dafs die Beobachter in solcher Relation zu der wärmern oder kältern Luft der Umgebung standen, dafs durch einige der vorhin (2951) beschriebenen Umstände der beobachtete Unterschied erzeugt oder vielmehr abgeändert werde.

2962. Mag indefs das von Gay-Lussac und Biot erlangte Resultat eine von dem Abstand herrührende Kraftveränderung anzeigen oder nicht, so wissen wir doch, dafs die Kraft, vom magnetischen Aequator aus nach Norden und Süden, grofse Veränderungen erleidet; wie Humboldt und Bessel sagen, vom Aequator nach den Westgränzen

1) *Ann. de chim. An. XIII. Vol. LII. p.* 86.
2) *Edinb. Phil. Transact.* 1836. *Vol. XIV. p.* 25.

Digitized by Google

der Baffin's-Bay verdoppelt wird. Und wenn so wenig wie ein Drittel-Kubikzoll Sauerstoff eine Kraft auszuüben vermag gleich der von einem der Wirkung unseres kräftigen Magnets unterworfenen Zehntel-Gran (wovon? P.), so läfst sich wohl begreifen, dafs die auch nur in wenig Kubikmeilen (*miles*) erwärmter oder erkälteter Luft vorhandene ungeheure Menge Sauerstoff den grofsen Unterschied der Magnetkraft compensiren, und so, durch eine Ortsveränderung, Luftströme oder Winde verursachen kann, welche ihren Ursprung in der Magnetkraft haben. In solchem Fall würden wir eine Relation der Magnete zu Stürmen haben und die Magnetkraft der Erde hätte zu thun mit den mechanischen Anordnungen und Variationen der Atmosphäre, zuweilen Strömungen veranlassend, die ohne sie nicht existiren würden, und zu anderen Zeiten sich denen widersetzend, die sonst entstanden wären, je nachdem die Differentialrelationen, durch welche sie wirken würde (2757), mit den natürlichen Ursachen zur Bewegung der Luft sich combinirten oder im Gegensatz befänden. Solche Bewegungen würden auf die Magnetkräfte rückwirken und diese würden sich rejustiren, und so würde es sowohl materielle als potentielle magnetische Gewitter (*storms*) in der Atmosphäre geben, wie sie von der letzteren Art in der Erde vorausgesetzt worden sind.

2963. Beim Schlusse dieser Mittheilung habe ich noch meinen Freunden, dem Obersten Sabine und dem Professor Christie zu danken für das Interesse, welches sie an dem Gegenstand nahmen, Ersteren noch für die aufserordentliche Gefälligkeit, mit der er mir die Benutzung von Beobachtungen und deren Daten gestattete, mufs aber bemerken, dafs sie durchaus nicht verantwortlich sind für die eigenthümlichen Ansichten, welche ich auszusprechen wagte. Ich erkenne wohl, dafs Vieles von dem, was ich schrieb, auf sehr unzureichender Betrachtung beruht, hoffe indefs, dafs in der Darstellung der von mir vermutheten physischen Ursache der Variationen einiges Wahre liege, und habe des-

Digitized by Google

halb mit deren Veröffentlichung nicht angestanden, glaubend dafs es der Wissenschaft zum Vortheil gereiche. Die magnetischen Eigenschaften und Beziehungen des Sauerstoffs sind vollkommen klar und deutlich, und durch den Versuch festgestellt (2774. 2780); und es ist keine Hypothese diese Eigenschaften auf die Atmosphäre zu übertragen, da die Atmosphäre, als ein blofses Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff, dieselben ebenfalls besitzt (2862) [1]). Sie variirt in ihren magnetischen Kräften durch Ursachen, welche unter natürlichen Umständen auf sie einwirken, und sie befähigen, einige der Effecte zu erzeugen, welche ich mich bemüht habe im Allgemeinen zu beschreiben.

2964. Wenn sie, auch nur zum Theil, eine Ursache der beobachteten magnetischen Variationen ist, so ist es doch sehr wichtig, eine solche Quelle der Wirkung zu identificiren und unterscheiden, wenn auch selbst unvollkommen; denn die Aufmerksamkeit wird dann auf die Wirkung und die von ihr erzeugten Phänomene hingelenkt. Die angedeutete Ursache hat den Vorzug, periodisch und in denselben Perioden vorzukommen, wie eine grofse Klasse der Effecte, die sie voraussetzlich erzeugen kann; und wenn die Uebereinstimmung anfangs auch weit allgemeiner scheinen sollte, wird sie ihren Anspruch auf unsere Aufmerksamkeit sehr erhöhen. Sie hat den Vorzug Erklärungen und selbst Vermuthungen über viele andere magnetische Vorgänge, aufser den periodischen, anzubieten, und zeigt sich zu einer Zeit, wo wir keine klare Kenntnifs von einer andern physischen Ursache der Variationen haben, sondern vage darauf beschränkt sind, sie von eingebildeten elektrischen Strömen in der Luft oder dem Raume darüber oder in der Erde abzuleiten.

2965. Die Ursache sowohl der ursprünglichen Kraft als deren secularen Veränderungen ist uns unbekannt. Wenn wir aber, bei Betrachtung der Erde als Magnet, im Stande wären, zwischen innerer und äufserer Wirkung zu unter-

1) *Phil. Mag.* 1847 *Vol. XXXI. pp.* 409, 406. (Ann. Bd. 73, S. 257).

Digitized by Google

scheiden, und eine grofse Klasse von Erscheinungen von dem Reste zu trennen, so würden wir genauer beurtheilen können, was uns in beiden Richtungen zu wissen Noth thut, welche Probleme einer Lösung bedürfen, und wie neue Winke aus der Natur über die Quelle der Kraft und deren Effecte zu würdigen sind.

2966. Der Magnetismus des Sauerstoffs scheint mir wunderbar zu seyn. Der Sauerstoff ist das in der Luft, was das Eisen in der Erde ist. Das fast gänzliche Verschwinden seines Magnetismus, wenn er Verbindungen eingeht, wie mit Stickstoff, Kohlenstoff und selbst mit Eisen, wobei er, bei gleichem Gewicht, weiter unter den Zustand des Metalls oder des Sauerstoffs reducirt wird, ist höchst merkwürdig (*impressive*). Eben so auffallend ist der Contrast mit dem Stickstoff, der ihn verdünnt; und diese Verschiedenheit erinnert an die, welche auch in Bezug auf statische Elektricität (1464) und die Leidener Flasche zwischen ihnen existirt. Chlor, Brom, Cyan und deren Genossen, um chemisch zu sprechen, haben keine magnetische Beziehung zum Sauerstoff. Er steht in dieser Beziehung, wie in allen seinen chemischen Actionen, allein in der Natur.

2967. In Bezug auf den atmosphärischen Magnetismus ist noch viel mit Sauerstoff zu thun. Der Betrag seiner paramagnetischen Kraft bei verschiedenen Graden der Temperatur und der Verdünnung ist noch genauer zu ermitteln, und diefs hoffe ich mittelst einer Torsionswaage zu bewerkstelligen (2783).

2968. Schwerlich kann Jemand über den atmosphärischen Magnetismus nachdenken, ohne auf die grofsen Fragen zu gerathen: Was bezweckt die Natur mit diesem Magnetismus der Atmosphäre, warum ist er jährlichen und täglichen Veränderungen unterworfen, und warum verschwindet er ganz, wenn er (der Sauerstoff) beim Verbrennen oder Einathmen Verbindungen eingeht. Unzweifelhaft giebt es einen Zweck oder mehre, denn nichts ist überflüssig in der Natur. Bei physischen Kräften finden wir keinen Mangel oder Ueber-

Digitized by Google

fluſs (*remainders or surplusage*) an Wirkung. Die kleinste Vorkehr (*provision*) ist so wesentlich als die gröſste. Nichts ist mangelhaft, nichts kann gespart werden.

Royal Institution 14. Sept. 1850 [1]).

III. *Ueber die Reflexion an der Oberfläche durchsichtiger Körper; von Hrn. J. Jamin.*

(*Ann. de chim. et de phys. Sér. III. T. XXIX. p.* 263. — Auf diese Abhandlung wurde bereits im Bd. 82 S. 279 d. Ann. verwiesen.)

Von allen optischen Phänomenen scheint ohne Widerrede das der Reflexion gegenwärtig am besten gelöst zu seyn. Die Erscheinungen, stets den mathematischen Formeln entsprechend, sind von diesen so oft vorausgesehen worden, daſs neue Versuche über den Gegenstand überflüssig erscheinen würden, wenn nicht einige gewichtige Einwürfe, deren Aufzählung mir verstattet seyn mag, doch wiederum Zweifel erregten.

Die von Fresnel zur Berechnung der Intensität des reflectirten Lichts gegebenen Formeln, setzen, wie er selbst sagt, voraus, daſs an der Trennungsfläche zweier Mittel die Vibrationsperioden der einfallenden und reflectirten Welle zusammenfallen. Wenn dieser Satz richtig wäre, würde jede weitere Bestätigung überflüssig seyn; allein wenn er nur eine unbewährte Hypothese wäre, wenn die Phase der Lichtbündel geändert würde durch die Reflexion, so würden die Formeln mit den daraus abgeleiteten Folgerungen zerrinnen.

1) Das Original giebt nun noch eine Reihe von Tafeln mit stündlichen Beobachtungen der Declination und der Temperatur zu Toronto, St. Petersburg, Washington, Athabaska-See und Fort-Simpson. Da sie indeſs nicht wesentlich für die obigen Betrachtungen sind, so glauben wir sie hier, der Raumersparung wegen, fortlassen zu dürfen. P.

Digitized by Google

Ueber diesen Punkt hat sich also die Erfahrung auszusprechen: nun bestätigt sie die Voraussetzung nicht immer. Man weifs nämlich durch die Versuche von Airy, dafs der Diamant und im Allgemeinen die Substanzen, die, obgleich durchsichtig, einen grofsen Brechungsindex besitzen, die geradlinige Polarisation des einfallenden Bündels in eine elliptische verwandeln, d. h. die Phase der reflectirten Strahlen verändern. Die Fresnel'sche Hypothese, gesetzt auch sie sey richtig für das Glas, kann demnach nur als ein besonderer Fall betrachtet werden, dessen allgemeines Princip noch aufgesucht werden mufs.

In Ermanglung genauer Beobachtungen zum Erweise oder Umsturze dieser Basis der Theorie, haben die Physiker Versuche gemacht, um die Folgerungen zu prüfen. Hr. Arago hat die Intensitäten des von Glas reflectirten Lichts gemessen, aber leider seine Resultate nicht veröffentlicht. Seebeck hat das Brewster'sche Gesetz über den Polarisationswinkel mit minutiöser Vorsicht bestätigt; aber seine Arbeiten stützen sich auf eine von Fresnel gekannte Thatsache, die eine Bedingung zu diesen Formeln war, ohne ein Beweis von denselben zu seyn. Endlich hat Hr. Brewster die Azimute der reflectirten Strahlen gemessen; allein seine Messungen bestätigen die Theorie nur innerhalb so weiter Fehlergränzen, dafs bedeutend andere algebraische Ausdrücke ebenfalls gerechtfertigt seyn würden. Ueberdiefs berechtigen sie zu einem gewichtigen Einwurf: einige nämlich stützen sich auf den Diamant, welcher offenkundig von den Fresnel'schen Fällen bedeutend abweicht, und dennoch sind die Uebereinstimmungen nicht minder vollkommen als beim Glase und Wasser; sie sind also unfähig die besonderen Reflexionsgesetze des Diamants nachzuweisen und liefern für diesen Körper eine trügerische Bestätigung; sie können mithin für die Fälle, für die sie als richtig vorausgesetzt wurden, nicht als ein genügender Erweis der Formeln angesehen werden.

Aufser diesen Gründen hatte ich zur Wiederaufnahme der Frage über die Reflexion noch andere gewichtige. Der allgemeinen Annahme nach zerfallen nämlich die Körper in

Digitized by Google

zwei Klassen: in solche, die sehr stark brechen und unvollständig polarisiren, und in solche, die mäfsig oder wenig brechen und vollständig polarisiren; es war daher wichtig durch entscheidende Versuche, die Gränze dieser beiden Klassen festzustellen, und nachzusehen, wie der Uebergang von der einen zur anderen geschehe. Endlich hatte man die Gesetze der elliptischen Polarisation des Diamants aufzusuchen und zu sehen, ob sie ausgedrückt würden durch die Formeln des Hrn. Cauchy, die ungeachtet ihrer Einfachheit bisher ohne experimentelle Prüfung geblieben sind. Man wird die Nothwendigkeit dieser Revision bald gewahr werden.

§. 1. Von der Natur der dem Lichte bei der Reflexion eingeprägten Modificationen.

Man mufs eingestehen, dafs die Polarisationsversuche noch keinen hohen Grad von Genauigkeit erreicht haben, theils wegen Unvollkommenheit der polarisirenden Instrumente, theils wegen der Schwierigkeit bei Feststellung der Azimute, oder der schlechten Anwendung des Lichts.

Gewöhnlich polarisirt man das Licht, indem man es an einem ebenen Glase reflectiren läfst; diefs ist das unvollkommenste aller Verfahren. Aufser der Unbequemlichkeit für die Versuche, ist es ungenau, wie ich weiterhin zeigen werde; überdiefs hätte ich die Gesetze der Reflexion nur an einem bereits reflectirten Lichtstrahl erweisen können, und das wäre ein *Petitio principii* gewesen.

Kalkspathrhomboëder, die lang genug sind, um die beiden Bilder zu trennen, von denen man eins durch ein Diaphragma verdeckt, sind ohne Widerrede die besten Mittel; allein die Schwierigkeit, sie sich zu verschaffen, nöthigt die Physiker sich der Nicol'schen Prismen zu bedienen, die, neben einigen Uebelständen, fast denselben Vortheil darbieten. Sie lenken zuweilen das Licht ab, aber das rührt von einer schlechten Construction her; sie geben zu inneren Reflexionen Anlafs, welche das Gesichtsfeld in Stücke theilen, von denen einige das Licht genau, andere aber nur

Digitized by Google

unvollständig polarisiren. Man vermeidet diese Unvollkommenheiten, wenn man sie von starken Dimensionen anwendet und sie mit engen Diaphragmen versieht. Endlich polarisiren sie nur die Strahlen, die ihrer Richtung parallel sind, was man jedoch immer bewerkstelligen kann. Mit diesen, zu oft vernachlässigten Bedingungen genügen sie allen Ansprüchen.

Fast immer experimentirt man mit Wolkenlicht. Gegen diesen Gebrauch kann man sich nicht genug aussprechen: er ist durch nichts gerechtfertigt und führt nothwendig zu groben Fehlern. Sucht man nämlich das Polarisationsazimut eines Strahles, so fängt man diesen mit einem analysirenden Prisma auf und bestimmt die Richtung des Hauptschnitts, bei dem eins der Bilder erlischt. Die Erfahrung zeigt dann, dafs diese Bedingung ziemlich erfüllt wird bei einer Reihe von Winkeln, die einen desto gröfsern Bogen umfassen als das Licht weniger intensiv ist. Man ist dann genöthigt, die Gränzen der scheinbaren Auslöschung aufzuzeichnen und das Mittel aus den Resultaten zu nehmen, die oft mehre Grade umfassen. Daraus entspringt eine leidige Unsicherheit und eine sehr grofse Anstrengung für das Auge, dessen Empfindlichkeit rasch abnimmt.

Zwar haben einige Physiker, um die Genauigkeit dieser Messungen zu erhöhen, secundäre Apparate vorgeschlagen, unter welchen ich nur den doppeltdrehenden Quarz des Hrn. Soleil nennen will, welcher in seinen beiden Theilen entweder gleiche Farbe behält oder ungleiche Farben annimmt, je nachdem die Axe des analysirenden Prismas parallel der Polarisationsebene ist oder nicht. Dieser Apparat erlangt bei zweckmäfsiger Dicke des Quarzes eine merkwürdige Genauigkeit; allein die Nothwendigkeit, in die er den Beobachter versetzt, mit weifsem Licht zu operiren, macht ihn ungeeignet die Dispersions-Umstände, die alle Erscheinungen begleiten, zu zeigen, und führt zu Fehlern, welche die unvermeidliche Folge dieser Dispersion sind und sehr beträchtlich werden, wenn diese es ist.

Dagegen kann man in diese Untersuchungen eine weniger

Digitized by Google

gefährliche Art der Vervollkommnung einführen, welche weder die Versuche noch die Apparate complicirt; sie besteht in der Anwendung von Sonnenlicht, das von Nicol'schen Prismen polarisirt und zerlegt und direct vom Auge aufgenommen wird.

Mittelst eines Heliostaten fixire ich ein Bündel Sonnenlicht horizontal und fange es in einer dunklen Kammer mit einem ersten Nicol'schen Prisma auf. Die hinreichend parallelen Strahlen polarisiren sich vollständig darin und werden mit einem zweiten solchen Prisma aufgefangen, mittelst dessen man sie auslöscht. So lange dieses Prisma wenig vom Auslöschungsazimut abweicht, kann man ohne Unbequemlichkeit das durchgelassene Bündel auffangen; so wie man sich aber um 3 oder 4 Grade nach rechts oder links davon entfernt, ist die Intensität des Lichts nicht mehr zu ertragen. Man begreift, dafs dann das Auslöschungs-Azimut mit keinem benachbarten Azimut zu verwechseln ist. Die Empfindlichkeit der Methode ist selbst so grofs, dafs die Auslöschung nicht zugleich im ganzen Gesichtsfelde vollständig ist, und wenn sie in der Mitte am gröfsten ist, hat man das Azimut erreicht. Mehre Personen, die so gut waren, mit mir vergleichende Versuche zu machen, begingen mit dem schwachen Wolkenlicht Fehler von mehren Graden, während bei Anwendung von Sonnenlicht die Fehler sich nicht bestimmen liefsen.

Aufser dem Vortheil, den doppelten Fehler, den man beim Messen der Azimute der einfallenden und reflectirten Strahlen begeht, bedeutend zu verringern, liefert die Anwendung des Sonnenlichts ein Mittel, wichtige Gesetze im Widerspruch mit den herkömmlichen Ideen zu erweisen:

1) Ich liefs einen in den Hauptazimuten polarisirten Lichtstrahl, nachdem er durch eine angemessene Richtung des zerlegenden Prisma ausgelöscht war, an einer grofsen Zahl von gut polirten Substanzen reflectiren. Er blieb nach der Reflexion vollkommen ausgelöscht, hatte folglich nicht aufgehört, vollständig in derselben Ebene polarisirt zu seyn. Wann, bei irgend einer einfallenden Polarisationsebene, die

Digitized by Google

Reflexion unter Neigungen geschah, die von der der Polarisation sehr verschieden waren, war zwar das Azimut geändert, aber der Strahl hatte nicht die Eigenschaft verloren, beim Durchgange durch den Zerleger vollständig zu erlöschen. Diese Versuche lehren, dafs die Reflexionen ohne merkliche Diffusion geschehen.

2) Nach den bekannten Polarisationsgesetzen müfste ein einfallender Strahl, der winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, bei einer bestimmten Incidenz aufhören reflectirt zu werden. Allein diese Bedingung ist niemals erfüllt; der Strahl erreicht ein Intensitätsminimum, ist aber immer sehr wahrnehmbar.

3) Der Polarisationswinkel kann durch die Bedingung aufgesucht werden, dafs ein natürlicher Strahl vollständig in der Einfallsebene polarisirt sey; aber auch hier habe ich erkannt, dafs diese Bedingung niemals verwirklicht ist, statt einer Incidenz von vollständiger Polarisation, nur ein Winkel von Polarisationsmaximum gefunden wird.

4) Wenn das einfallende Licht in einem nahe an 90° liegenden Azimute polarisirt ist, hört es auf nach der Reflexion polarisirt zu werden und; wenn das ursprüngliche Azimut zweckmäfsig gewählt ist, kann die Depolarisation unter dem Einfall des Polarisationsmaximums vollständig seyn, weil sie immer weniger hervortritt, so wie man die Neigung vergröfsert oder verringert.

5) Verringert man die Intensität des einfallenden Strahls, so nimmt die Empfindlichkeit des Auges ab, und man kann nicht mehr erkennen, ob die Polarisation vollständig sey; die Erscheinungen sind so, wie wenn dieselbe nach der Reflexion vollständig wäre.

Erinnert man sich, dafs die angewandten Prismen das Licht vollständig polarisiren, dafs die Depolarisation nur unter besonderen Umständen entsteht; so kann man diese Thatsachen weder der Unvollkommenheit der Apparate, noch der Diffusion des Lichtes zuschreiben, sondern mufs schliefsen, dafs die durchsichtigen Substanzen das Licht nur unvollständig polarisiren. Die Analogie dieser Resultate mit

Digitized by Google

denen bei den Metallen erlaubt die Voraussicht, dafs alle Körper das Licht elliptisch polarisiren, und um diefs zu erweisen, bedarf es nur des einfachen Versuchs, den ich beschreiben will.

Man nehme ein dünnes Gypsblättchen, von solcher Dicke, dafs es den zwischen Violett und Blau liegenden hanfgrauen Farbenton giebt, einen Farbenton, der sich rasch verändert, wenn man zwei rechtwinkliche Vibrationen von verschiedenen Phasen durch das Blättchen gehen läfst. Man stelle im reflectirten Strahl die Axe parallel der Einfallsebene und polarisire das einfallende Sonnenbündel in einer nahe bei 90° liegenden Azimute. Wenn die Reflexion an der polirten Fläche nichts thut als die Amplituden der Componenten der reflectirten Welle zu ändern, ohne die Vibrationsknoten zu verschieben, so verändert die Farbe des Blättchens sich nicht, sondern nur das Azimut. Wenn aber diese Farbe Modificationen in ihrer Natur erleidet, so darf man mit Sicherheit schliefsen, dafs sich dem Gangunterschied, welcher das Blättchen den beiden in den Hauptebenen polarisirten Strahlen mittheilt, ein anderer, durch die Reflexion erzeugter Unterschied hinzufügt. Der Versuch beantwortet diese Alternative entscheidend. Von der streifenden Incidenz bis zum Polarisationswinkel sieht man die Farbe sich um eine Viertel-Undulation ändern, und für geringere Incidenzen zu ihrer früheren Zusammensetzung zurückkehren. Bei Wiederholung des Versuchs mit einer reflectirenden Metallfläche beobachtet man dieselben Farbenveränderungen. Es ist unmöglich, Zweifel an der theoretischen Bedeutung dieser Versuche zu hegen; sie besagen:

1) Die durchsichtigen Substanzen polarisiren das Licht nicht vollständig.
2) Sie verwandeln die geradlinige Polarisation des einfallenden Bündels in eine elliptische.
3) Der Gangunterschied der Hauptstrahlen erleidet dieselben Veränderungen wie bei den Metallen zwischen denselben Gränz-Incidenzen.

Vom theoretischen Gesichtspunkt aus haben diese Schlüsse

Digitized by Google

eine grofse Wichtigkeit. Wir werden jedoch bald zeigen, dafs die Fresnel'schen Formeln die Intensitäten des reflectirten Lichts mit einer für die Praxis hinlänglichen Genauigkeit ausdrücken; allein wir sehen nun auch, dafs sie eines der wichtigsten Reflexionsphänome, das der Phasenveränderung nämlich, keineswegs voraussehen; sie verlieren dadurch den Charakter der Allgemeinheit und hören auf der rationelle Ausdruck des Phänomens zu seyn. Wir werden uns weiterhin mit theoretischen Ausdrücken beschäftigen, durch welche sie ersetzt werden müssen; für den Moment wollen wir uns mit den angedeuteten Phänomenen im Detail beschäftigen. Um keinen Irrthum in den Worten zu hinterlassen, wollen wir *Winkel des Polarisationsmaximum* oder *Hauptincidenz* diejenige Incidenz nennen, welcher man ehedem mit dem Namen *Polarisationswinkel* belegte.

II. Maafs der Intensität und der Phase der reflectirten Strahlen.

Wir werden bald erkennen, dafs die elliptische Polarisation nur nahe beim Winkel des Polarisationsmaximums merklich ist, und dafs der Unterschied zwischen den Phasen zweier Hauptstrahlen von π bis 2π variirt zwischen Incidenzen, von denen die erstere kleiner und die letztere gröfser als die der Polarisation ist, und die nur um einige Grade verschieden sind. Auch führt die geringste Veränderung der Neigungen zu einer sehr grofsen in der Phase, und der schwächste Fehler in der Bestimmung zu grofsen Unrichtigkeiten in den Resultaten. Zu dieser ersten Schwierigkeit der Versuche, die wir unternehmen wollen, gesellt sich eine zweite. Bei den dem Polarisationsmaximum nahen Incidenzen erreicht der winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirte Strahl eine so schwache Intensität, dafs er bisher als Null betrachtet wurde, während der in der Einfallsebene polarisirte Strahl einen sehr grofsen Werth behält. Ist es nun bis zu einem gewissen Punkt leicht, bei zwei rechtwinklig polarisirten Strahlen von gleicher Intensität den Phasenunterschied zu messen, so ist es andererseits viel

Digitized by Google

unbequemer, wenn eine der Componenten fast Null ist, weil dann deren Wirkung fast verschwindet; auch habe ich die bisher zur Messung der Phasen vorgeschlagenen Methoden ohne Erfolg angewandt und mich genöthigt gesehen neue Apparate zu construiren. Folgende Methode ist mir gelungen.

Ich wende zu diesen Versuchen das Instrument an, welches mir zu meinen Versuchen über die Metalle gedient hat und mit vieler Sorgfalt von Hrn. Soleil verfertigt worden ist. Es besteht aus einem horizontalen Kreise *MNL* (Taf. III. Fig. 3), versehen in seinem Centro mit einer Tafel, welche die reflectirenden Platten, mit etwas Wachs befestigt, aufnimmt, und mittelst einer die Neigungen auf dem Kreise angebenden Alhidade *L* beweglich ist. Das Licht wird polarisirt durch ein Nicol'sches Prisma, das in eine feste auf das Centrum gerichtete Röhre *EF* eingelassen, und zur Messung der Azimute des einfallenden Lichts mit einem getheilten Kreise *GH* versehen ist.

Der reflectirte Strahl wird aufgenommen von einer zweiten Röhre *AB*, die von einer beweglichen Alhidade getragen wird und wie die erste mit einem Verticalkreise und einem Nicol'schen Prisma versehen ist; sie trägt überdiefs an ihrem, dem Centro zugewandten Ende einen Apparat, mittelst dessen die elliptische Polarisation des reflectirten Bündels auf die geradlinige zurückgeführt werden kann, nämlich einen Compensator, dessen Princip früher von Hrn. Babinet beschrieben wurde, und den ich zu einem Mefsapparat umwandelte, indem ich ihm ein angemessenes Graduirungssystem hinzufügte.

Es besteht, wie es sein horizontaler Durchschnitt Taf. III. Fig. 4 zeigt, aus zwei, der Axe parallelgeschnittenen und über Kreuz gelegten Quarzplatten *ABC* und *ADC*. Die Platten sind schwach prismatisch und der dickere Theil der einen liegt auf dem dünneren der anderen. Die in dem ersteren ordentlich und aufserordentlich gebrochenen Strahlen werden es in dem zweiten aufserordentlich oder ordentlich, nehmen Gangunterschiede von entgegengesetztem Zeichen

Digitized by Google

chen an und erzeugen bei ihrem Austritt eine Interferenz durch blofsen Unterschied der in den beiden Lamellen durchlaufenen Strecken.

Das Prisma ADC ist an einem in die Bahn des reflectirten Strahls gebrachten Kupferrohr unveränderlich befestigt; das Prisma ABC dagegen ist horizontal verschiebbar durch eine Mikrometerschraube, deren getheilter Kopf ein Zweihundertel eines Millimeters schätzen läfst (Taf. III. Fig. 5). In der Mitte des Gesichtsfeldes sind, etwa 1 Millimeter von einander, zwei sehr feine Fäden NN' ausgespannt, welche dazu dienen, in dem Apparat die Richtung der reflectirten Strahlen zu bestimmen. (Fig. 4.)

Lassen wir auf diesen Apparat einen Lichtstrahl fallen, der um $+45°$ gegen die Axen des Compensators polarisirt, und ursprünglich durch das Nicol'sche Ocularprisma ausgelöscht ist. Wenn die Quarzplatten sich in der anfänglichen, durch die Figur angedeuteten Lage befinden, so werden die Quarzdicken zwischen den beiden Fäden N und N' gleich seyn, die beiden Componenten, die ordentliche und die aufserordentliche, haben nach dem Durchgange durch diesen Theil des Compensators keinen Gangunterschied, und das in der ursprünglichen Ebene polarisirt gebliebene Licht fährt fort durch das Nicol'sche Ocularprisma ausgelöscht zu seyn. Man hat sonach eine dunkle Franse zwischen den beiden Fäden.

Verschiebt man das Prisma ABC von B nach A, so wird seine Dicke vorwaltend, und die beiden Strahlen, welche den zwischen den beiden Fäden liegenden Raum durchlaufen haben, erlangen einen Gangunterschied, der allmälig von 0 bis $\frac{1}{2}\lambda$ wächst. Ist diese Gränze erreicht, so wird das Licht auf die geradlinige Polarisation im Azimut $-45°$ zurückgeführt, und dreht man den Zerleger um 90 Grad, so erhält man genau zwischen den Fäden eine dunkle Franse.

Bei Anwendung eines homogenen Lichts erhält man sehr dünne, ganz schwarze Fransen; es ist dann sehr leicht, die Gränzlagen zu finden, bei welchen der Gangunterschied 0 oder $\frac{1}{2}\lambda$ ist, und die entsprechenden Stellungen der Mikro-

Digitized by Google

meterschraube aufzuzeichnen. Arbeitet man mit weifsem Licht, so kann man, obwohl dann die Fransen gefärbt sind, auch noch diese Bestimmung mit Genauigkeit machen, wenn man als Vergleichungspunkt die zwischen dem Blau und dem Violett der Franse liegende Farbe nimmt.

In meinem Apparat stellen sich die mittliche und die seitlichen Fransen in die Mitte der Fäden bei folgenden Lagen des Mikrometers:

		Abstand der Fransen.
Franse	rechts 32,45	12,75
do.	in der Mitte 19,70	
do.	links 7,05	12,65
	Mittel	12,70.

Offenbar werden, wenn man von der anfänglichen, in der Figur angedeuteten Stellung ausgeht, die Gangunterschiede a der zwischen den Fäden durchgelassenen Strahlen proportional der Verschiebung d wachsen, und ausgedrückt seyn durch einen Bruch von halben Wellen, der gleich ist dem Bruch von Fransenbreiten, der diese Verschiebung bezeichnet. Man wird also haben:

$$a = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{d}{12{,}70.}$$

In meinem Apparat ist die Axe des beweglichen Prisma ABC horizontal, und weil der Quarz negativ ist, hat der ordentliche, horizontal d. h. in der Einfallsebene polarisirte Strahl eine gröfsere Geschwindigkeit als der aufserordentliche Strahl, welcher winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist. Wir werden diesen Gangunterschied als positiv betrachten.

Wenn wir dagegen das vordere Prisma von A nach B d. h. von links nach rechts verschieben, so wird seine Dicke zwischen den Fäden geringer als die des festen Prismas; wir haben wieder einen Gangunterschied, der sich wie der frühere berechnen läfst, aber negativ ist. Er wird das Zurückbleiben des in der Einfallsebene polarisirten Strahls gegen den winkelrecht darauf polarisirten Strahl ausdrücken. Wir nehmen ihn als negativ.

Digitized by Google

Wir haben also einen in die Bahn des reflectirten Strahles eingeschalteten Apparat, welcher erlaubt zwischen den beiden Componenten der Bewegung einen von 0 bis $\frac{1}{2}\lambda$ gehenden Gangunterschied herzustellen, der durch die Verstellung der Mikrometerschraube leicht zu messen ist. Diese giebt $\frac{1}{700}$ Millimeter oder $\frac{1}{200.12,70}$ d. h. $\frac{1}{2540}$ der Fransenbreite und folglich der halben Wellenlänge an. Diese Annäherung, die man noch erhöhen könnnte, ist vollkommen hinreichend.

Um diesen Apparat zum Studium der Reflexion anzuwenden, läfst man an der zu untersuchenden Substanz einen polarisirten Strahl reflectiren. Durch die Reflexion zerfällt er in zwei Vibrationen, eine horizontale und eine verticale, die verschiedene Amplituden und einen positiven oder negativen Gangunterschied x annehmen. Sie durchlaufen den Compensator, den man sich immer auf den zwischen den Fäden enthaltenen Theil reducirt denken mufs. Da die Richtung ihrer Bewegungen zu den Axen der beiden Quarze parallel oder winkelrecht ist, so ändern sie weder ihre Azimute noch das Verhältnifs ihrer Amplituden, und sie erleiden nur eine Phasenänderung, welche der durch die Reflexion bewirkten hinzutritt, wenn sie von gleichem Zeichen ist, oder sich von ihr subtrahirt, wenn sie entgegengesetztes Zeichen hat. In jedem dieser beiden Fälle kann man immer dem Compensator eine solche Stellung geben, dafs die Summe dieser Gangunterschiede einem Multiplum von $\frac{1}{2}\lambda$ gleich ist, und dann wird die Polarisation geradlinig. Dreht man den Zerleger in ein gehöriges Azimut, so erlöscht das Bild und man hat eine dunkle Franse zwischen den Fäden.

Es giebt nun zwei Bestimmungen zu machen. Man bringt die Franse genau zwischen die Fäden und zeichnet die Stellung des Mikrometers auf; dann sucht man, bei welchem Azimut des Zerlegers die Franse möglichst dunkel sey. Die erstere Bestimmung dient zur Auffindung der aus der Reflexion entspringenden Phase, die letztere zur Auffindung

Digitized by Google

des Intensitätsverhältnisses der beiden reflectirten Componenten. Gehen wir näher in die Sache ein.

Sey α das Azimut der einfallenden Polarisation; $\cos\alpha$ und $\sin\alpha$ sind dann die parallel und winkelrecht zur Einfallsebene polarisirten Componenten. Nach der Reflexion sind sie $I\cos\alpha$ und $J\sin\alpha$, und da der Compensator nichts anderes thut, als sie auf eine, einem Multiplum von $\frac{1}{2}\lambda$ gleiche Phase zurückzuführen, so stellen sie einen polarisirten Strahl wieder her, dessen direct gemessenes Azimut β das Verhältnifs $J\sin\alpha : I\cos\alpha$ zur Tangente hat. Also

$$\text{tang}\,\beta = \frac{J}{I}\,\text{tang}\,\alpha, \qquad \frac{J}{I} = \frac{\text{tang}\,\beta}{\text{tang}\,\alpha}$$

Die Bestimmung des Intensitätsverhältnisses der in den Hauptazimuten polarisirten Strahlen geschieht also dadurch, dafs man die Richtung des zerlegenden Prismas sucht, welche der Franse das Maximum ihrer Schärfe giebt. Obgleich die Anwendung des Sonnenlichts diese Bestimmung erleichtert, so führt sie immer eine ziemlich grofse Strecke von Fehlern mit sich; allein in der Berechnung von $\frac{J}{I}$ sind die Fehler, welche $\text{tang}\,\beta$ anhaften, dividirt durch $\text{tang}\,\alpha$, und der Experimentator hat es in seiner Macht sie durch Vergröfserung des Winkels α auf einen kleinen Werth zu reduciren. Bei allen meinen Versuchen war der Winkel α gleich 84°, seine Tangente war also 9,504, und wenn man also in der Messung von β einen Fehler von 4 Grad voraussetzte, was ungeheuer wäre, würde er das Verhältnifs $\frac{J}{I}$ nur um 0,007 ändern.

Die andere Bestimmung besteht darin, die dunkle Franse in die Mitte beider Fäden zu führen und die Verstellung d des Mikrometers zu messen; sie geschieht mit einer von der guten Construction des Apparates abhängigen Genauigkeit und ohne ernstliche Fehler einzuführen. Den vom Compensator bewirkten Gangunterschied a berechnet man dann mittelst der schon angeführten Formel:

$$a = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{d}{12{,}70}$$

Digitized by Google

Er ist positiv, wenn der Compensator von B nach A d. h. rechts ging, und negativ, wenn er im umgekehrten Sinn verschoben wurde. Diese Bestimmung lehrt, dafs wenn der reflectirte Strahl den Compensator zwischen den Fäden durchlaufen hat, die Polarisation wieder geradlinig, d. h. die Summe der Gangunterschiede $(x+a)$ ein Multiplum von $\frac{1}{2}\lambda$ geworden ist. Allein *a priori* kann man weder das Zeichen von $x+a$, noch den Werth dieses Multiplums wissen. Setzen wir also:

$$x+a=\pm n\,\tfrac{1}{2}\lambda$$

und suchen n zu bestimmen.

Wir wissen, dafs, wenn wir einen bei $+45^\circ$ gegen die Einfallsebene polarisirten Strahl reflectiren lassen, er bei der senkrechten und der streifenden Incidenz seine geradlinige Polarisation behält, und dafs mithin die Tangenten vom Azimut des reflectirten Strahls das Verhältnifs der Hauptvibrationen ausdrücken.

Bei der normalen Incidenz ist das Azimut des reflectirten Strahls gleich -45°, und dann haben die beiden Componenten entgegengesetztes Zeichen. *Sie haben also einen Gangunterschied gleich* $\frac{1}{2}\lambda$.

Ist dagegen die Reflexion eine streifende, so ist der reflectirte Strahl bei $+45^\circ$ polarisirt, und die beiden Hauptvibrationen haben einen Gangunterschied gleich Null oder gleich λ. Nun ist es nicht möglich, durch den Versuch zwischen diesen beiden Hypothesen zu entscheiden; allein um uns den theoretischen Ideen, die bald discutirt werden sollen, anzubequemen, wollen wir annehmen, *der Gangunterschied sey bei der streifenden Incidenz gleich* λ.

Ohne mithin etwas über das Zeichen von x zu entscheiden, sagen die obigen Bemerkungen, dafs diese Gröfse zwischen $\frac{1}{2}\lambda$ und λ liegt; und da der Compensator einen anderen Gangunterschied a, der von 0 bis $\frac{1}{2}\lambda$ schwanken kann, einführt, so liegt die algebraische Summe $(x+a)$ dieser beiden Gröfsen immer zwischen 0 und $\frac{3}{2}\lambda$, und da sie diese Gränzen nur bei den extremen Incidenzen errei-

Digitized by Google

chen kann, so wird allemal, wenn die Polarisation hergestellt ist, die Summe $x+a$ gleich seyn $\frac{1}{2}\lambda$ oder $\frac{3}{2}\lambda$.

$$x+a=\pm\begin{cases}\frac{1}{2}\lambda\\ \frac{3}{2}\lambda\end{cases}$$

Wenn die totale Interferenz $\pm\frac{1}{2}\lambda$ ist, wird eine der Componenten des vom Zerleger aufgefangenen polarisirten Strahls das Zeichen gleichzeitig mit dem Azimut des reflectirten Strahls gewechselt haben. Ist dagegen $x+a$ $\pm\frac{3}{2}\lambda$, so bleibt das Azimut des Strahls in demselben Quadranten vor und nach der Reflexion. Man weifs also in allen Fällen, ob man die eine oder die andere der beiden Gleichungen:

$$x+a=\pm\tfrac{1}{2}\lambda,\ x+a=\pm\tfrac{3}{2}\lambda$$

zu gebrauchen habe.

Was die aus dem doppelten Zeichen entspringende Unsicherheit betrifft, so verschwindet sie bei Untersuchung der besonderen Umstände der zu prüfenden Substanzen, und wir werden sehen, dafs diese doppelte Lösung den beiden verschiedenen Fällen entspricht, welche die zu studirenden Substanzen unterscheiden.

Ich arbeitete zunächst mit einer Platte von gemeinem Opal. Die Erfahrung zeigt, dafs die Polarisation vollkommen geradlinig ist bei der streifenden Incidenz, und dafs sie es bleibt bei verringerter Schiefe der Reflexion bis zu einer Incidenz, die wenig gröfser als der Winkel des Polarisationsmaximum ist; alsdann fängt die Franse an, nicht mehr in der Mitte beider Fäden zu liegen, und wenn man sie dahin zurückführt, indem man das Mikrometer von der Rechten zur Linken verschiebt, so wächst der Gangunterschied a allmälig in dem Maafse als die Incidenz abnimmt; sie wird bei der Hauptincidenz gleich $\frac{1}{4}\lambda$ und erreicht bei einer wenig geringeren Incidenz den Werth $\frac{1}{2}\lambda$. Nach dem Sinn, in welchem der Compensator verschoben worden, ist a positiv; überdiefs haben die Polarisationsazimute des von der Platte reflectirten und durch den Compensator gegangenen Strahls gleiches Zeichen wie vor der Reflexion; mithin hat man:

Digitized by Google

$$x+a=\pm\tfrac{3}{2}\lambda,\quad x=\pm\tfrac{3}{2}\lambda-a$$

und die Werthe von x bei den drei Incidenzen, der streifenden, der hauptsächlichen und der lothrechten, sind

$$\pm\tfrac{3}{2}\lambda,\ \pm\tfrac{3}{2}\lambda-\tfrac{1}{4}\lambda,\ \pm\tfrac{3}{2}\lambda-\tfrac{1}{2}\lambda$$

oder

$$+\lambda,\quad +\tfrac{3}{4}\lambda,\quad +\tfrac{1}{2}\lambda$$
$$-\lambda,\quad -\tfrac{5}{4}\lambda,\quad -\tfrac{3}{2}\lambda$$

Die Hypothese vom Zeichen — genügt nicht den Gränzbedingungen, mufs also verworfen werden.

Zu demselben Schlufs gelangt man auf folgende Weise. Beginnt man mit der lothrechten Incidenz und vergröfsert allmälig die Schiefe der Fläche, so beginnt die zuvor in ihre anfängliche Lage gebrachte Franse sich bei einer gewissen Incidenz zu verschieben und sie stellt sich wieder zwischen die Fäden, wenn man den Compensator von der Linken zur Rechten bewegt. Dann ist a negativ und geht durch die Werthe -0, $-\frac{1}{4}\lambda$, $-\frac{1}{2}\lambda$. Das Azimut des ausfahrenden, auf die ebene Polarisation zurückgeführten Strahls ist alsdann dem des einfallenden Strahls im Zeichen entgegengesetzt; man mufs nun die Relation nehmen

$$x+a=\pm\tfrac{1}{2}\lambda$$

woraus für die drei Incidenzen, die streifende, die hauptsächliche und die lothrechte, die folgende Werthe von x hervorgehen:

$$\lambda,\quad \tfrac{3}{4}\lambda,\quad \tfrac{1}{2}\lambda$$
$$-0,\quad \tfrac{1}{4}\lambda,\quad -\tfrac{1}{2}\lambda.$$

Durch Combination dieser Versuchsreihe mit der vorherigen findet man vier Lösungen, von denen zwei, nämlich die dem + Zeichen entsprechenden, gemeinschaftlich sind, während die beiden anderen einer einzigen der beiden Reihen genügen; sie entsprechen dem — Zeichen und müssen verworfen werden. Man mufs also schliefsen:

1) dafs x positiv ist d. h. dafs der in der Einfallsebene polarisirte Strahl dem winkelrecht darauf polarisirten Strahl voraus ist.

2) dafs der Ganguntersched von der lothrechten bis zur streifenden Incidenz von $\frac{1}{2}\lambda$ bis λ zunimmt, und beim

Digitized by Google

Winkel des Polarisationsmaximums den Werth $\frac{3}{4}\lambda$ annimmt.

Folgendes sind die Resultate der Versuche mit dem Feueropal:

Incidenzen.	Mikrometer.	Verschiebung der Fransen.	Gangunterschied x.	β.	Verhältn. d. Amplituden.
90° 0′	19,70	+ 0	+ 2,000	84° 00′	1,0000
60 0	22,20	+ 2,50	+ 1,843	27 30	0,0738
59 45	22,50	+ 2,80	+ 1,810	24 30	0,0680
59 30	23,07	+ 3,37	+ 1,734	21 30	0,0617
59 15	23,46	+ 3,76	+ 1,703	19 30	0,0372
59 0	23,92	+ 4,22	+ 1,666	18 0	0,0331
58 45	24,65	+ 4,95	+ 1,609	16 30	0,0312
58 30	25,40	+ 5,70	+ 1,540	16 0	0,0302
58 22	26,08	+ 6,32	+ 1,500	15 0	0,0281
58 15	26,65	+ 6,95	+ 4,155	15 15	0,0287
58 0	27,38	+ 7,68	+ 1,397	16 45	0,0316
57 45	28,14	+ 8,44	+ 1,337	17 0	0,0321
57 30	28,47	+ 8,97	+ 1,295	19 0	0,0362
57 0	29,62	+ 9,92	+ 1,220	22 45	0,0441
56 30	30,34	+ 10,64	+ 1,163	30 0	0,0620
56 0	30,59	+ 10,89	+ 1,143	32 30	0,0670
0 0	32,45	+ 12,70	+ 1,000	84 0	1,0000

In dieser Tafel sind die Lagen und Verschiebungen der Fransen ausgedrückt durch die Einheit des Schraubenganges, der annähernd einem halben Millimeter gleich ist, und die Gangunterschiede sind in Function der halben Wellenlänge berechnet. Man wird bemerken, dafs die Azimute β, und folglich das Verhältnifs der beiden Componenten nicht durch den Werth Null geht, sondern durch einen Minimumwerth von 15°, welchen es erreicht, wenn der Gangunterschied gleich $\frac{3}{4}\lambda$ ist. Es ist demnach hinreichend klar, dafs die Polarisation niemals vollständig, dafs sie vielmehr elliptisch ist zwischen Incidenzen, die von 56 bis 60° gehen, d. h. sehr wenig vom Polarisationswinkel abweichen.

Nicht alle in der Natur vorkommenden Substanzen befolgen die eben aufgefundenen Gesetze. Es giebt einige, die sich von anderen durch eine optische Eigenschaft unterscheiden, die so sonderbar ist, dafs man sie wohl nicht erwarten würde. Ich nehme hier als Beispiel den Hyalith oder durchsichtigen wasserhaltigen Quarz.

Digitized by Google

Wenn man die Incidenz von 90° bis 0° abnehmen läfst, so geht die centrale Franse aus dem Zwischenraum der Fäden fort, und um sie dahin zurückzuführen, mufs man den Compensator von links nach rechts bewegen; der Gangunterschied a ist demnach negativ und wächst von 0 bis $\frac{1}{2}\lambda$. Das Azimut des ausfahrenden Strahls hat gleiches Zeichen wie das des einfallenden Strahls, und die Gleichung

$$x = \pm\tfrac{2}{2}\lambda - a$$

giebt successive

$$+\lambda,\ +\tfrac{5}{4}\lambda,\ +\tfrac{3}{2}\lambda$$
$$-\lambda,\ -\tfrac{3}{4}\lambda,\ -\tfrac{1}{2}\lambda.$$

Die Hypothese des — Zeichens gehört blofs zu den für die Gränzen aufgestellten Bedingungen, und man mufs schliefsen, dafs die in der Einfallsebene polarisirte Vibration nicht mehr einen Vorsprung, sondern einen Verzug erlitten hat, der numerisch dieselben Werthe λ, $\frac{1}{2}\lambda$ an den Gränzen der Incidenz, und $\frac{3}{4}\lambda$ bei der Hauptincidenz durchläuft. Hier das Detail der Versuche:

Hyalith.

Incidenzen.	Lage des Mikrometers.	Verschiebung der Fransen.	Gangunterschied x.	β.	Verhältnifs der Amplituden.
90° 0′	19,70	— 0,00	— 2,000	84° 0	1,0000
56 0	18,97	— 0,73	— 1,924	18 0	0,0342
55 30	18,40	— 1,30	— 1,898	11 30	0,0214
55 15	17,77	— 1,93	— 1,850	5 37	0,0105
55 0	15,15	— 4,55	— 1,641	4 22	0,0080
54 52	13,38	— 6,32	— 1,500	4 6	0,0075
54 45	11,22	— 8,53	— 1,329	4 15	0,0078
54 30	9,30	— 10,45	— 1,177	8 0	0,0148
54 15	8,82	— 10,93	— 1,140	10 56	0,0203
53 30	8,22	— 11,53	— 1,092	18 30	0,0352
0	7,05	— 12,70	— 1,000	84 0	1,0000

Vergleicht man die Angaben des Mikrometers in dieser und der vorhergehenden Tafel, so sieht man, dafs sie sich in umgekehrtem Sinn verändern d. h. dafs die Franse, während sie im Opal sich in einer Richtung verschiebt, in dem Hyalith in entgegengesetzter Richtung wandert. Es ist also unzweifelhaft dafs die von der Reflexion erzeugten Gang-

Digitized by Google

unterschiede in beiden Substanzen entgegengesetztes Zeichen besitzen.

Es ist zweckmäfsig, die beiden so eben an der Lichtreflexion erkannten Wirkungsweisen durch besondere Namen zu unterscheiden. Wir schlagen vor, *positiv reflectirende Substanzen* diejenigen zu nennen, welche, wie der Opal, die Schwingungsknoten der in der Einfallsebene polarisirten Componente vorrücken, und *negativ reflectirende Substanzen* diejenigen, welche dieselben zurückschieben.

Allein aufser diesen beiden Reflexionsreihen giebt es, wie leicht vorauszusehen, noch eine dritte, nämlich diejenige, bei welcher die beiden Componenten des reflectirten Bündels dieselbe Phase nach der Reflexion behalten. Dieser Fall ist der seltenste und kann als blofs durch ganz eigenthümliche Umstände veranlafst angesehen werden; allein er kommt doch bei einigen Körpern vor. Ich will nur zwei davon anführen. Der erste ist ein Exemplar vom Menilith und der andere ein gegen die Octaëderaxe senkrecht geschnittener Alaunkrystall. Ich kann indefs nicht behaupten, dafs sich am reflectirten Strahl keine Spur von Ellipticität zeige, sondern nur sagen, dafs sie zu schwach war, um gemessen werden zu können.

Die zahlreichen Versuche, welche ich an Substanzen von sehr verschiedener Natur und Brechkraft ausgeführt habe, berechtigen mich, die Wirkungsweise derselben auf das Licht in allgemeiner Weise auszudrücken. Denkt man sie sich nach abnehmenden Werthen ihres Brechungsindexes geordnet, so findet man an der Spitze der Liste die Metalle, bei denen die Polarisation des reflectirten Strahles elliptisch ist von der lothrechten bis zur streifenden Incidenz, d. h. der Gangunterschied stetig abnimmt zwischen diesen Gränzen, von $\frac{1}{2}\lambda$ bis λ. Bei den durchsichtigen Substanzen findet man auch noch den Gangunterschied in stetiger Weise abnehmen von $\frac{1}{2}\lambda$ bis λ zwischen zwei Incidenzen, deren erstere kleiner, und deren zweite gröfser ist als der Winkel des Polarisationsmaximums, während er für geringere oder gröfsere Incidenzen constant

Digitized by Google

und gleich $\frac{1}{2}\lambda$ oder λ bleibt; folglich ist die Polarisation nach der Reflexion aufserhalb dieser Gränzen geradlinig, und zwischen denselben elliptisch. In dem Maafse als der Refractionsindex abnimmt nähern sich im Allgemeinen diese Gränzen, weichen immer weniger von einander ab, und fallen endlich mit einander und mit der Hauptincidenz zusammen. Dieser Fall verwirklicht sich bei einem Brechungsindex von annähernd dem Werth 1,46. Alsdann geschieht die Aenderung der Phase von $\frac{1}{2}\lambda$ zu λ plötzlich; das ist der Fall der Fresnel'schen Formeln. Alle in den ersten Theil der Reihe kommende Substanzen sind positiv reflectirende; allein wenn wir den Index weiter abnehmen lassen, sehen wir wieder eine Phasendifferenz auftreten, doch mit einer negativen Reflexion. Alle Substanzen, deren Index kleiner ist als 1,46, scheinen in diese letztere Kategorie zu fallen; doch mufs ich bemerken, dafs ich, weil die Einrichtungen meines Apparats mir nicht erlaubt haben, Flüssigkeiten auf diese Probe zu stellen, nur eine geringe Anzahl schwach brechender Substanzen zu untersuchen vermochte, und dafs, wenn ich auch durch die Gleichförmigkeit der bei ihnen beobachteten Wirkung zur Aufstellung dieser Relation berechtigt bin, die geringe Zahl derselben mich doch veranlafst, sie mit allem möglichen Vorbehalt zu geben, erwartend, dafs zahlreichere Beispiele sie entweder bestätigen oder widerlegen.

Wichtig ist, den Werth der Hauptincidenz zu kennen. Bisher begnügte man sich, den Polarisationswinkel durch Verfahren zu messen, deren einfachstes darin bestand, dafs man einen natürlichen Strahl reflectiren liefs und den Winkel aufsuchte, der ihn in der Einfallsebene polarisirte. Diese Bedingung, welche indefs fast niemals vollständig ist, sondern es nur zu seyn scheint, wegen der geringen Empfindlichkeit des Auges und der geringen Intensität des reflectirten Lichts, identificirt den Polarisationswinkel mit der Hauptincidenz und erlaubt das eben erwähnte Verfahren zu ersetzen durch die unvergleichlich genauere Messung der Incidenz, bei der die Interferenz gleich $\frac{3}{4}\lambda$ ist. Man stellt den

Digitized by Google

Compensator zuvörderst so, dafs zwischen den Fäden ein Gangunterschied von $\frac{1}{4}\lambda$ hervorgebracht wird, und sucht dann die Incidenz, bei welcher die Polarisationsfranse sich wieder in ihre Mitte stellt. Diefs wird die Hauptincidenz seyn, und da bekanntlich in der Nähe dieses Winkels die geringsten Inclinationsveränderungen eine grofse Aenderung in dem Phasenunterschied herbeiführen, so geschieht die Bestimmung mit vollkommner Genauigkeit.

Die Versuche, deren Princip ich so eben kennen lehrte, haben nicht allein den Zweck, die Gangunterschiede zwischen winkelrecht und parallel zur Einfallsebene polarisirten Strahlen zu messen, sondern auch das Verhältnifs ihrer Amplituden. Folgendes sind die allgemeinen Resultate zu denen man gelangt. Für alle positiv oder negativ reflectirende Substanzen ist diefs Verhältnifs bei der lothrechten und der streifenden Incidenz gleich eins. Bei allen nimmt es ab bis zum Polarisationswinkel, wo es ein Minimum ist. Sein Werth bei dieser Incidenz läfst sich messen durch die allgemeine Formel:

$$k = \frac{\text{tang}\,\beta}{\text{tang}\,\alpha}.$$

Um sich der Genauigkeit der Resultate zu versichern, polarisirt man das Licht successiv in verschiedenen, aber immer sehr grofsen Azimuten α, α', α'', sucht die entsprechenden Werthe von β, und leitet aus den Mitteln den Werth von k nach der obigen Relation ab.

Offenbar ergiebt sich aus diesen Bemerkungen, dafs die Reflexionsgesetze sich aus dem blofsen Werth der Hauptincidenz nicht ableiten lassen, und dafs man das Amplitudenverhältnifs k bei diesem Winkel als zweite Constante einführen mufs. Man wird diese Gröfsen in der Tafel am Schlusse dieser Abhandlung finden, und folgende Bemerkungen machen können.

Im Allgemeinen nimmt das Verhältnifs k ab mit dem Brechungsindex, jedoch zeigt die Tafel einige Ausnahmen von diesem Gesetz. Kalkspath, Turmalin, Steinkohle, gewisse Flintgläser, deren Indices nicht sehr hoch sind, be-

Digitized by Google

sitzen eine sehr elliptische Polarisation; während Blende, Diamant, Antimonglas und Spinell mit einer starken Brechkraft die Eigenschaft vereinigen, das Licht wenig elliptisch zu polarisiren. Dieses, von einigen Personen in Zweifel gezogene Resultat bietet indefs nichts Widersprechendes dar. Freilich ist die elliptische Polarisation längst beim Diamant nachgewiesen, ohne dafs man sie beim Kalkspath geahnet hat, wo sie viel gröfser ist; allein man mufs erwägen, dafs der Diamant wegen seiner hohen Brechkraft einen sehr grofsen Antheil vom Licht reflectirt, während der Kalkspath, dessen Index kleiner ist, eine geringere Lichtmenge zurückwirft. Um den Grad der Ellipticität bei zwei Substanzen zu vergleichen, müfste man die reflectirten Strahlen zuvörderst gleich machen, und dann würde die Probe nicht zweifelhaft seyn.

Ein experimentelles Gesetz, welches von Brewster entdeckt, von Fresnel's Formeln gerechtfertigt und von Seebeck mit der ängstlichsten Sorgfalt bestätigt worden ist, hat bisher festgestellt, dafs die Tangente des Polarisationswinkels gleich ist dem Brechungsindex. Diefs Gesetz gilt auch numerisch für die Hauptincidenz, wenigstens vermag ich nicht zu sagen, ob die Abweichungen, welche man beobachtet, der Unrichtigkeit des Gesetzes, oder den Oberflächenveränderungen, deren Einfluſs Seebeck erkannt hat, zugeschrieben werden müssen. Ich werde übrigens auf den Gegenstand zurückkommen.

Die in der Tafel aufgeführten Zahlen dürfen nicht als charakteristisch für die genannten Substanzen, sondern nur als gültig für die beobachteten Individuen derselben betrachtet werden. Ich habe freilich gefunden, dafs sie bei Körpern von recht constanter Molecularbeschaffenheit und chemischer Zusammensetzung keine grofse Schwankungen erleiden; allein gewisse andere zeigen merkwürdige Aenderungen mit den Molecular-Modificationen. So habe ich vom Schwefel nicht zwei identische Stücke gefunden; interessant wäre es die Moleculartransformationen desselben in den optischen Eigenschaften zu verfolgen.

Digitized by Google

Die Färbung einer Substanz, die Compression oder Dilatation derselben, die Härtung oder Enthärtung, die Politur und überhaupt irgend welche Veränderung in ihrem Zustand, sind eben so viele Ursachen zu Veränderungen der optischen Erscheinungen. Ich habe mir vorgenommen sie ausführlich zu studiren, begnüge mich indefs für den Moment damit, das allgemeine Gesetz aufzustellen, ehe ich es in seinen Modificationen verfolge.

Ich habe geglaubt durch einige Beispiele zeigen zu müssen, dafs die krystallisirten durchsichtigen Körper sich nicht dem allgemeinen Gesetz der elliptischen Polarisation entziehen. Ich habe sie immer senkrecht gegen ihre Symmetrie-Axe geschnitten. Es ist kaum nöthig zu sagen, dafs jede andere Richtung beim Versuche andere Resultate giebt, und dafs der Werth der Constanten eine sehr complicirte Function ist, die gemeinschaftlich durch den Versuch und durch die mathematische Theorie aufgesucht werden mufs.

III. Vergleich der Resultate mit der Theorie des Hrn. Cauchy.

Nach Fresnel hat Hr. Cauchy, ohne von einem hypothetischen Postulate auszugehen, in den *Comptes rendus* von 1839, eine allgemeine Theorie der Reflexion im Abrifs veröffentlicht. Es ist Sache dieses gelehrten Mathematikers die Grundsätze, welche ihn geleitet, zu entwickeln, und somit einen längst von den Physikern gehegten Wunsch zu erfüllen; was mich betrifft, so werde ich mich begnügen, seine Resultate zu discutiren und sie mit denen der Erfahrung zu vergleichen.

In einer ersten Formel:

$$\frac{J^2}{I^2} = \operatorname{tang}^2 \omega = \frac{\cos^2(i+r) + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin^2(i+r)}{\cos^2(i-r) + \varepsilon^2 \sin^2 i \sin^2(i-r)} \cdots \quad (1)$$

bedeutet ω ein Azimut, dessen Tangente gleich ist dem Amplitudenverhältnifs der Componenten der reflectirten Bewegung; i und r haben die gewöhnliche Bedeutung, und ε ist eine allgemein sehr kleine Constante, welcher wir den Namen *Ellipticitätscoëfficienten* geben wollen.

Digitized by Google

Der Phasenunterschied δ berechnet sich durch die Relationen:

$$\delta = \delta' + \delta'' + \begin{cases} \pi \\ o \end{cases} \text{ wenn } \begin{matrix} i+r<90^\circ \\ i+r>90^\circ \end{matrix}$$

$$\text{tang}\,\delta' = \varepsilon \sin i \,\text{tang}(i+r), \quad \text{tang}\,\delta'' = \varepsilon \sin i \,\text{tang}(i-r).$$

Wäre $\varepsilon = 0$, würden obige Formeln:

$$\delta = \begin{cases} \pi \\ 2\pi \end{cases} \text{ wenn } \begin{matrix} i+r<90^\circ \\ i+r>90^\circ \end{matrix} \qquad \text{tang}\,\omega = \frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}$$

und man käme auf die Fresnel'sche Formel zurück.

Als Hr. Cauchy diese Resultate veröffentlichte, nahm man an, der allgemeine Fall der Reflexion sey der der das Licht vollkommen polarisirenden Substanzen, und man kannte nur eine höchst geringe Anzahl sehr stark brechender Körper mit elliptischer Polarisation. Diese experimentellen Gesetze wie alle Physiker annehmend, hatte Hr. Cauchy seine Formeln beschränkt und $\varepsilon = 0$ gesetzt; alsdann bemerkend, dafs sie mit den von Fresnel identisch werden, zog er daraus ein Argument zu Gunsten ihrer Genauigkeit; er liefs ihnen daher ihre ganze Allgemeinheit für den als seltner betrachteten Fall, von welchem der Diamant den Typus abgab. Da es gegenwärtig erwiesen ist, dafs die vollständige Polarisation durch Reflexion ein blofser Zufall ist, der sich nur in sehr seltenen Fällen und unter ganz eigenthümlichen Umständen der Brechbarkeit verwirklicht, so mufs man die Beschränkung, welche Hr. Cauchy seinen Formeln glaubte auflegen zu müssen, forträumen und ihnen die Allgemeinheit beilegen, die er damals nicht vermuthete. Wir müssen überdiefs bemerken, dafs gleich wie die in den obigen Formeln ausgesprochene Theorie nicht darüber entscheidet, wann die Polarisation geradlinig oder elliptisch sey, sie auch das Zeichen von δ unentschieden läfst, und der Versuch allein uns lehrt, dafs der Phasenunterschied zuweilen positiv, zuweilen zufällig Null, und zuweilen negativ ist. Die Theorie berechnet also das Intensitätsverhältnifs und den Phasenunterschied, bis auf das

Digitized by Google

Zeichen, welches sie nicht kennen lehrt. Wir haben nun zu untertersuchen, ob sie die numerischen Werthe dieser Gröfse liefere.

Da in der Formel (1) Zähler und Nenner gleich sind der Summe zweier Quadrate, die zugleich weder Null noch unendlich werden können, so wird $\tang\omega$ niemals Null seyn, und der in der Einfallsebene polarisirte Strahl wird durch die Reflexion niemals vollkommen ausgelöscht, sondern nur geschwächt wenn $i+r$ sich 90° nähert, und er erreicht in der Nähe des Polarisationswinkels ein oft der Null sehr nahes Minimum. Läfst man von diesem Winkel aus die Incidenz zu- oder abnehmen, so wächst $\cos(i+r)$ und die sehr kleinen Glieder, die von ε abhängen, können im Zähler und Nenner fortgelassen werden, ohne dafs dadurch der Werth von $\tang\omega$ merklich geändert wird. Für Incidenzen, die vom Polarisationswinkel entfernt sind, fällt also die Formel (1) mit der Fresnel'schen zusammen, und in keinem Fall weicht sie viel von ihr ab.

Nachdem man δ' und δ'' ersetzt hat, wird der Phasenunterschied gegeben seyn durch die Relation:

$$\frac{\varepsilon \sin i\,[\tang(i+r)+\tang(i-r)]}{1-\varepsilon^2\sin^2 i\tang(i+r)\tang(i-r)} = \begin{cases} \tang(\delta-\pi) \\ \tang\delta \end{cases} \text{wenn} \begin{matrix} i+r<90^\circ \\ i+r>90^\circ. \end{matrix}$$

Sobald $i=0$, $\delta=\pi$.

Läfst man i zunehmen, so wachsen $i+r$ und $i-r$, und δ überschreitet den ursprünglichen Werth π

δ erreicht den Werth $\frac{3}{2}\pi$ wenn i, bei fortwährendem Wachsen, der Bedingung genügt, die den Nenner vernichtet:

$$\tang(i+r) = \frac{1}{\varepsilon^2\sin^2 i\tang(i-r)}.$$

$\tang(i+r)$ wird positiv und sehr grofs seyn, $(i+r)$ also etwas kleiner als $\frac{1}{2}\pi$, und diefs kommt darauf hinaus zu sagen, $\tang i$ sey kleiner als n aber ihm doch sehr nahe oder die Hauptincidenz etwas geringer als der durch das Brewster'sche Gesetz bestimmte Polarisationswinkel.

Wenn

Digitized by Google

Wenn $i+r=90^\circ$, hat man $\tang\delta=\frac{-1}{\varepsilon\sin i\tang(i-r)}$ und δ wird gröfser als $\frac{3}{2}\pi$, aber diesem Winkel sehr nahe seyn.

Endlich, wenn die Incidenz fortfährt bis 90° zu steigen, wird der Werth von $\tang\delta$ negativ bleiben und δ alle Werthe von $\frac{3}{2}\pi$ bis 2π annehmen.

Die Formeln des Hrn. Cauchy stellen, wie man sieht, alle Hauptumstände der Versuche dar; überdiefs machen sie eine Unterscheidung zwischen Hauptincidenz, für welche $\delta=\frac{3}{2}\pi$, und Polarisationswinkel, welche dem Fresnel'schen Gesetze $\tang i=n$ genügt. Die directe Messung des Unterschiedes zwischen diesen beiden Winkeln ist allein schon ein entscheidendes Argument zu Gunsten der Theorie; aber unglücklicher Weise geht dieser Unterschied in den meisten Fällen nicht über einige Sekunden, steigt beim Schwefelarsen kaum auf achtzehn Minuten, und entzieht sie daher seiner Kleinheit wegen den Messungen. Um die Frage zu entscheiden, müfste man nämlich direct den Brechungsindex messen, i mittelst der Relation $\tang i=n$ berechnen, dann den Winkel i' durch die Bedingung $\delta=\frac{3}{2}\pi$ aufsuchen und i mit i' vergleichen. Aufser dem doppelten Irrthum bei diesen zwei Bestimmungen, müfste man denjenigen ermitteln, welcher aus dem Zustand der Oberfläche entspringt. Seebeck hat nämlich gefunden, dafs die reflectirende Oberfläche eines Körpers nicht immer identisch dieselbe ist, dafs sie sich mit der Natur der zum Poliren angewandten Substanzen verändert, und auch mit der Zeit mehr oder weniger modificirt, so dafs es für jeden Körper zwei besondere Indices giebt, einen, der die Reflexion regelt, und einen, der die Refraction erzeugt. Inmitten dieser Thatsachen habe ich keine Verificationen versucht, die, selbst wenn sie sehr genau gewesen wären, hätten illusorisch seyn können und Einwürfe erhoben haben würden, deren Wucht mir vollkommen erwiesen ist.

Die beiden Constanten n und ε, deren Kenntnifs zur Berechnung der Formeln (1) und (2) nöthig ist, lassen sich ableiten aus der Hauptincidenz i und dem Amplitudenver-

Digitized by Google

hältnifs k, die wir schon gemessen haben. Weil $\delta = 90^\circ$ hat man:

$$\varepsilon^2 \sin^2 i = \frac{1}{\operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)}$$

und substituirt man diefs in dem Werth von $\operatorname{tang}^2 \omega$

$$k^2 = \frac{\cos^2(i+r) + \frac{\sin^2(i+r)}{\operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)}}{\cos^2(i-r) + \frac{\sin^2(i-r)}{\operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)}}$$

$$= \frac{\cos(i+r)\sin(i+r)\sin(i+r)\cos(i-r) + \sin(i-r)\cos(i+r)}{\cos(i-r)\sin(i-r)\sin(i+r)\cos(i-r) + \sin(i-r)\cos(i+r)}$$

$$k^2 = \frac{\sin^2(i+r)}{\sin^2(i-r)}$$

und nach Entwicklung der Sinus und Reduction:

$$\operatorname{tang} 2r = \frac{k^2-1}{k^2+1} \operatorname{tang} 2i$$

woraus sich r und folglich n ergiebt; und der Werth von ε wird geliefert durch die Formel

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{\sin^2 i \operatorname{tang}(i+r)\operatorname{tang}(i-r)}.$$

Für die Versuche zur Prüfung hatte ich Körper auszuwählen von sehr verschiedener Brechkraft, von der gröfsten bis zur kleinsten, Körper, die in ihrer Natur, Zusammensetzung und Farbe von einander abwichen, und dabei klar und vollkommen polirt waren. Ich wandte deren sechs an, nämlich: Schwefelarsenik, durchsichtige Blende, Diamant, ein Flintglas von 1,714 Brechungsindex, ein sehr schwach brechendes Glas und Flufsspath (*fluorine*).

Hier zunächst die Versuche mit einem Schwefelarsenik, das wenig gefärbt, vollkommen durchsichtig und ziemlich homogen war. Die Beleuchtung dieses Apparats geschah in diesem Fall, aber nur in diesem einen, durch eine Carcel'sche Lampe, die zweckmäfsig mit Linsen und Reflectoren versehen war. Die normalen Fransen des Compensators hatten eine etwas gröfsere Breite (13,18) als beim Sonnenlicht. In der dritten und vierten Columne der Tafel habe ich nicht den Phasenunterschied, sondern die Interferenz

Digitized by Google

der reflectirten Componenten in Bruchtheil der halben Wellenlänge angegeben, was auf dasselbe hinausläuft, da die erstere Gröfse immer gleich ist dem Product der zweiten mit π.

Incidenz.	Verschieb. der Fransen.	$\frac{\delta}{\pi}$ beob.	$\frac{\delta}{\pi}$ ber.	Unterschied.	Incidenz.	Verschieb. der Fransen.	$\frac{\delta}{\pi}$ beob.	$\frac{\delta}{\pi}$ ber.	Unterschied.
85°	0,28	1,979	1,973	+0,006	63°	10,23	1,230	1,217	+0,013
83	0,51	1,962	1,961	+0,001	62	10,70	1,193	1,185	+0,008
81	0,65	1,951	1,947	+0,004	61	11,02	1,170	1,168	+0,002
79	0,97	1,927	1,929	−0,002	60	11,24	1,154	1,145	+0,009
77	1,32	1,901	1,907	−0,006	58	11,60	1,127	1,115	+0,012
75	1,61	1,879	1,875	+0,004	56	11,80	1,106	1,095	+0,011
73	2,17	1,837	1,828	+0,009	54	12,10	1,090	1,089	+0,001
72	2,66	1,800	1,795	+0,005	52	12,29	1,075	1,069	+0,006
71	3,29	1,753	1,752	+0,001	50	12,59	1,052	1,059	−0,007
70	4,06	1,694	1,696	−0,002	48	12,67	1,046	1,052	−0,006
69	5,17	1,611	1,623	−0,012	46	12,71	1,043	1,045	−0,002
68	6,34	1,523	1,563	−0,040	44	12,83	1,034	1,040	−0,006
67	7,53	1,433	1,450	−0,017	42	12,95	1,025	1,034	−0,009
66	8,45	1,364	1,369	−0,005	40	12,97	1,024	1,030	−0,006
65	9,40	1,292	1,304	−0,012	30	13,04	1,018	1,015	+0,003
64	9,95	1,251	1,253	−0,002					

Die folgende Versuchsreihe lehrt bei zahlreichen Incidenzen die berechneten und beobachteten Werthe des Winkels ω kennen; die Columne der Unterschiede zeigt, dafs die Uebereinstimmung so befriedigend wie möglich ist.

Zu Anfange dieser Abhandlung sagte ich, dafs Hr. Brewster vom Diamant, ohne die elliptische Polarisation desselben zu berücksichtigen, einen polarisirten Strahl im Azimut 45° reflectiren liefs und die Lagen des Zerlegers suchte, welche das aufserordentliche Bild auf die kleinste Intensität reducirten. Er mafs dann, nicht die Azimute der vollständigen Polarisation, sondern die Richtungen der kleinen Axe der Oscillationsellipse des reflectirten Strahls. Die Fresnel'schen Gesetze waren also nicht mehr theoretisch anwendbar; indefs erkannte Hr. Brewster, dafs die gemessenen Azimute ausgedrückt würden durch die Formel:

$$\text{tang}\, A = \frac{(\cos i + r)}{(\cos i - r)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Digitized by Google

Hier war entweder ein Beobachtungsfehler oder eine merkwürdige Coïncidenz, und diese veranlafste mich, am Schwefelarsenik die Versuche zu wiederholen, welche Hr. Brewster am Diamant gemacht hatte. Ich mafs die Azimute A, berechnete sie nach der Formel (3), und fand die berechneten und beobachteten Winkel nahe gleich für diesen Körper, wie sie es schon für den Diamant waren.

Um über diesen Punkt nichts dunkel zu lassen, mufs man zuvor ermitteln, was für eine Polarisation der reflectirte Strahl besitzt. Ist sie elliptisch, so giebt es zwei Reihen in der Bedeutung und dem Werthe verschiedener Azimute. Die einen, von Hrn. Brewster gemessenen A sind die Richtung der kleinen Axe in der Ellipse des reflectirten Strahls; die anderen, durch die Werthe von ω dargestellten, drücken durch ihre Tangente das Amplitudenverhältnifs aus. Wenn die Polarisation geradlinig ist, fallen diese beiden Reihen in eine einzige zusammen, die zugleich die Bedeutungen der beiden vorhergehenden besitzt, und theoretisch der Relation genügt:

$$\text{tang}\, A = \text{tang}\, \omega = \frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}.$$

Ist die Polarisation elliptisch, so berechnen sich die Winkel ω nach der Formel (1) und die Winkel A nach der von mir [1]) nachgewiesenen Relation

$$\text{tang}\, 2A = \text{tang}\, 2\omega \cos\delta.$$

Es ergiebt sich durch eine Coïncidenz, für die man keinen theoretischen Grund aufzusuchen braucht, dafs diese Relation sehr nahe dieselben Zahlen wie die Fresnel'sche Formel liefert, welchen Grad von Ellipticität auch die Polarisation haben möge. Letztere repräsentirt also in genügender Weise die Azimute der kleinen Axe der Ellipse; allein in keinem andern Falle als in dem einer vollständigen Polarisation kann sie zur Berechnung von ω dienen; und weil man nicht, wie man mufste, die Natur der Polarisation des reflectirten Strahls unterschied, beging man einen

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XIX.* (Ann. Ergänzbd. II, S. 437.)

Digitized by Google

groben Fehler und glaubte an eine Beweisführung, die man zwar für stark brechende Substanzen nicht als hinreichend erachtete, die aber für Körper von geringer Brechbarkeit, für welchen man sie annahm, nicht weniger trügerisch ist.

Ein Blick auf die Tafel wird diese Schlüsse rechtfertigen. Man wird bemerken, dafs die Winkel ω und A, in der Nähe der Hauptincidenz, bedeutend von einander abweichen, dafs jede dieser beiden Reihen mit der theoretischen Formel übereinstimmt, und dafs die Werthe von A, berechnet nach den Formeln von Cauchy und von Fresnel, sehr nahe einander gleich sind.

Hinter dieser Tafel habe ich die mit den andern, vorhin genannten Substanzen gemachten Versuche aufgeführt. Diese Reihen bedürfen keiner ferneren Erläuterung; nur wird man bemerken, dafs wenn beim Flufsspath (*fluorine*), die in der Einfallsebene polarisirte Componente gegen die begleitende zurück ist, der Phasenunterschied dennoch, bis auf das Zeichen, dieselben Variationen erfährt wie bei den Substanzen mit positiver Reflexion. Man wird auch sehen, dafs, wenn der Ellipticitätscoëfficient abnimmt, sämmtliche Einfallswinkel, für welche der Phasenunterschied merklich ist, in immer dichter zusammenliegende Gränzen gedrängt werden, die, wenn k Null wird, mit dem Polarisationswinkel zusammenfallen.

Digitized by Google

Schwefelarsenik. — Amplitudenverhältnifs.

Incidenzen.	$\omega = \text{Arc. tang} \frac{J}{I}$ beob.	ber.	Unterschied.	Azimut A der kleinen Ellipsenaxe berechnet nach beob.	Cauchy.	Fresnel.
84°	31° 40′	32° 20′	− 0° 40′	32° 35′	33° 7′	32° 10′
82	27 10	28 4	− 0 54	27 5	27 56	27 19
80	24 10	23 58	+0 12	23 25	23 41	23 4
78	20 0	20 3	− 0 3	19 15	19 35	18 56
76	16 20	16 19	+0 1	15 10	15 28	14 55
74	12 33	12 43	− 0 10	11 25	11 12	11 2
72	9 22	9 43	− 0 21	8 22	7 53	7 18
70	8 30	8 9	+0 21	4 52	5 5	3 42
68	6 56	6 3	+0 53	0 52	1 2	1 21
66	6 46	6 27	+0 19	2 30	2 36	2 52
64	8 46	8 10	+0 36	5 10	5 47	6 6
62	10 33	10 24	+0 9	8 45	8 39	9 3
60	11 30	12 42	− 0 12	12 0	11 33	11 45
58	15 40	15 10	+0 30	14 5	14 20	14 30
56	17 33	17 29	+0 4	17 10	16 53	16 59
54	19 55	19 46	+0 9	19 25	19 19	19 20
52	21 36	21 50	− 0 14	21 15	21 19	22 0
50	23 18	23 53	− 0 35	23 41	23 35	23 39
48	26 30	25 44	− 0 14	25 50	25 33	25 34
40	32 40	32 12	+0 28	32 25	32 8	32 10

Durchsichtige Blende. $n = 2{,}371$; $\varepsilon = 0{,}0296$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 84°.)

Incidenz	Verschieb. d Fransen.	Interferenz. beob.	ber.	Unterschied.	Wiederhergestelltes Azimut.	ω. beob.	ber.	Unterschied.
76° 0′	0,57	+1,955	+1,951	+0,004	70° 15′	16° 18′	17° 57′	− 0° 39′
74 0	0,81	+1,936	+1,941	− 0,005	64 45	13 34	13 48	− 0 14
72 0	1,25	+1,912	+1,913	− 0,001	54 15	8 19	8 50	− 0 31
70 0	1,80	+1,859	+1,855	+0,004	42 0	5 24	5 30	− 0 6
69 0	2,75	+1,784	+1,793	− 0,009	34 0	4 3	4 1	+0 2
68 0	4,06	+1,681	+1,676	+0,005	26 30	3 0	2 52	+0 8
67 30	5,16	+1,594	+1,586	+0,008	23 37	2 38	2 32	+0 6
67 0	6,68	+1,471	+1,481	− 0,010	22 55	2 33	2 26	+0 7
66 30	7,87	+1,380	+1,380		25 23	2 51	2 37	+0 14
66 0	8,99	+1,292	+1,300	− 0,008	28 45	3 18	2 59	+0 19
65 30	9,57	+1,246	+1,241	+0,005	32 0	3 44	3 37	+0 7
65 0	10,00	+1,212	+1,199	+0,013	37 25	4 36	4 8	+0 28
64 0	10,78	+1,151	+1,145	+0,006	43 0	5 21	2 27	− 0 6
63 0	11,13	+1,124	+1,113	+0,011	50 15	7 12	6 51	+0 21
62 0	11,55	+1,090	+1,092	− 0,002	54 30	8 23	8 15	+0 7
61 0	11,75	+1,075	+1,076	− 0,001	59 15	10 1	9 38	+0 23
60 0	11,83	+1,068	+1,067	+0,001	61 45	11 4	10 55	+0 9

Digitized by Google

Diamant. $n = 2{,}434$ $\varepsilon = 0{,}0180$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 84°).

Incidenz.	Verschieb. d. Fransen.	Interferenz. beob.	Interferenz. ber.	Unterschied.	Wiederhergestelltes Azimut.	ω. beob.	ω. ber.	Unterschied.
75° 0′	0,48	+1,962	+1,970	− 0,008	66° 22′	13° 30′	13° 17	+0° 13′
74 0	0,59	+1,955	+1,964	− 0,009	64 7	12 13	11 23	+0 50
73 0	0,67	+1,948	+1,956	− 0,008	58 37	9 46	9 43	+0 3
72 0	0,77	+1,940	+1,942	− 0,002	52 15	7 44	7 42	+0 2
71 0	0,92	+1,928	+1,928		45 22	5 53	5 56	− 0 3
70 0	1,31	+1,897	+1,897		34 52	4 11	4 14	− 0 3
69 30	1,68	+1,868	+1,872	− 0,004	31 57	3 45	3 25	+0 20
69 0	2,21	+1,826	+1,829	− 0,003	26 7	2 57	2 18	+0 39
68 30	2,93	+1,769	+1,758	+0,011	18 45	2 3	1 58	+0 5
68 0	4,57	+1,640	+1,629	+0,011	14 0	1 30	1 28	+0 2
67 55	6,05	+1,545	+1,538	+0,007	13 2	1 23	1 22	+0 1
67 30	7,15	+1,437	+1,441	− 0,004	12 52	1 22	1 23	− 0 1
67 15	8,19	+1,363	+1,354	+0,009	14 37	1 34	1 32	+0 2
67 0	9,13	+1,288	+1,286	+0,002	16 22	1 45	1 43	+0 2
66 30	10,14	+1,202	+1,197	+0,005	21 35	2 23	2 20	+0 3
66 0	10,73	+1,155	+1,147	+0,008	27 35	3 9	3 1	− 0 7
65 0	11,37	+1,105	+1,097	+0,008	35 45	4 20	4 29	− 0 9
64 0	11,77	+1,073	+1,071	+0,003	43 40	5 46	5 58	+0 12
63 0	11,90	+1,063	+1,057	+0,006	51 45	7 36	7 26	+0 10
62 0	12,10	+1,047	+1,047		54 15	8 18	8 54	− 0 36
61 0	12,17	+1,042	+1,039	+0,003	59 15	10 1	10 17	− 0 16
60 0	12,29	+1,032	+0,034	− 0,002	62 53	11 35	11 31	+0 1

Flintglas, $n = 1{,}714$. $\varepsilon = 0{,}0170$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 77° 30′).

65° 15′	0,52	+1,959	+1,965	− 0,006	33° 15′	8° 16′	8° 31′	− 0° 15′
64 0	0,65	+1,947	+1,957	− 0,010	29 15	7 5	7 2	+0 3
63 0	0,78	+1,939	+1,940	− 0,001	24 30	5 46	5 9	+0 35
62 0	0,98	+1,923	+1,913	+0,010	17 52	4 5	3 37	+0 28
61 0	1,56	+1,877	+1,842	+0,035	12 15	2 45	2 10	+0 35
60 30	2,02	+1,841	+1,788	+0,053	9 10	2 3	1 31	+0 32
60 0	4,56	+1,640	+1,623	+0,017	5 31	1 13	1 3	+0 10
59 30	7,58	+1,401	+1,382	+0,019	4 47	1 4	1 3	+0 1
59 0	9,92	+1,217	+1,223	− 0,006	6 45	1 30	1 30	
58 30	10,50	+1,167	+1,149	+0,018	8 47	1 58	2 8	− 0 10
58 0	11,45	+1,108	+1,100	+0,008	12 14	2 45	2 50	− 0 5
57 0	11,88	+1,064	+1,071	− 0,007	17 42	4 3	4 17	− 0 14
56 0	12,10	+1,043	+1,052	− 0,009	23 15	5 26	5 46	− 0 20
55 0	12,17	+1,039	+1,041	− 0,002	29 0	7 0	7 3	− 0 3
54 0	12,31	+1,036	+1,034	+0,002	33 52	8 27	8 40	− 0 23
53 0	12,34	+1,026	+1,027	− 0,001	38 45	10 5	10 6	− 0 1

Digitized by Google

Glas. $n=1{,}487$. $\varepsilon=0{,}00752$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 84°).

Incidenz.	Verschieb. d. Fransen.	Interferenz. beob.	Interferenz. ber.	Unterschied.	Wiederhergestelltes Azimut.	ω. beob.	ω. ber.	Unterschied.
61° 0′	0,23	+1,981	+1,985	−0,004	51°55′	7°38′	7°41′	−0° 3′
60 0	0,28	+1,978	+1,980	−0,002	45 24	5 5	5 29	+0 36
59 0	0,32	+1,985	+1,973	+0,002	37 40	3 9	4 40	−1 31
58 0	0,53	+1,958	+1,970	−0,012	26 45	3 2	3 50	−0 48
57 30	0,64	+1,949	+1,945	−0,004	20 26	2 15	2 15	
57 15	0,82	+1,935	+1,934	+0,001	17 2	1 51	1 52	−0 1
57 0	0,97	+1,913	+1,917	−0,004	14 56	1 36	1 12	+0 24
56 45	1,30	+1,898	+1,888	+0,010	11 17	1 12	1 7	+0 5
56 30	1,96	+1,846	+1,837	+0,009	8 7	0 52	0 47	+0 5
56 15	3,98	+1,686	+1,681	+0,005	4 37	0 29	0 28	+0 1
56 0	7,36	+1,420	+1,396	+0,024	3 22	0 21	0 22	−0 1
55 45	9,87	+1,223	+1,159	+0,064	5 15	0 33	0 39	−0 6
55 30	10,91	+1,141	+1,127	+0,014	8 32	0 54	0 59	−0 5
55 15	11,62	+1,085	+1,085		11 52	1 16	1 9	+0 7
55 0	11,96	+1,058	+1,061	−0,003	16 0	1 43	1 44	−0 1
54 30	12,12	+1,046	+1,048	−0,002	23 3	2 34	2 30	+0 4
54 0	12,25	+1,036	+1,037	−0,001	27 38	3 9	3 17	−0 8
53 30	12,29	+1,032	+1,029	+0,003	33 56	4 3	4 3	

Flufsspath (*Fluorine*). $n=1{,}441$. $\varepsilon=0{,}00969$.

(Azimut der ursprünglichen Polarisation 84°).

60° 0′	−0,18	−1,986	−1,980	−0,006	52° 7′	7°41′	7°29′	+0° 12′
57 30	−0,55	−1,957	−1,956	−0,001	32 30	3 50	3 35	+0 15
57 0	−0,73	−1,943	−1,944	+0,001	25 52	2 55	2 45	+0 10
56 30	−1,07	−1,916	−1,923	+0,007	18 18	1 59	2 2	−0 3
56 0	−1,68	−1,868	−1,876	+0,008	13 0	1 23	1 17	+0 6
55 45	−2,19	−1,819	−1,822	+0,003	8 10	0 52	0 55	−0 3
55 15	−6,83	−1,463	−1,499	+0,036	6 0	0 38	0 33	+0 5
55 0	−9,34	−1,265	−1,282	+0,017	6 35	0 42	0 37	+0 5
54 45	−10,47	−1,175	−1,175		9 15	0 59	0 55	+0 4
54 30	−11,11	−1,125	−1,123	−0,002	11 38	1 14	1 17	−0 3
54 15	−11,44	−1,099	−1,094	−0,005	15 15	1 38	1 39	−0 1
54 0	−11,70	−1,078	−1,076	−0,002	20 0	2 11	2 7	+0 4
53 30	−11,95	−1,059	−1,055	−0,004	26 45	3 2	2 48	+0 14
53 0	−12,17	−1,051	−1,042	−0,009	32 0	3 45	3 35	+0 10

Nachdem wir gezeigt, dafs die durch die Reflexion in der Amplitude und der Phase des reflectirten Bündels herbeigeführten Modificationen Functionen zweier Constanten sind, ist es nöthig den Werth für recht viele Substanzen

Digitized by Google

zu bestimmen, und dabei den Messungen alle mögliche Genauigkeit zu geben. Diefs mufs ich erläutern.

Ich habe gezeigt, wie man die Hauptincidenz und das Amplitudenverhältnifs k bei derselben finden könne. Diese beiden Gröfsen, welche man als experimentelle Constanten der Reflexion betrachten kann, dienen zur Berechnung der theoretischen Constanten n und ε mittelst der gleichfalls schon gegebenen Relationen:

$$\text{tang}\, 2r = \frac{k^2-1}{k^2+1}\,\text{tang}\, 2i, \quad \varepsilon^2 = \frac{1}{\sin^2 i\,\text{tang}\,(i+r)\,\text{tang}\,(i-r)}.$$

Im Fall k sehr klein ist, könnte der Fehler, den man beim Messen des dasselbe bestimmenden Azimuts beginge, ein Fehler, der bei jeder Gröfse dieses Azimuts constant ist, k um eine mit k selber vergleichbare Gröfse verfälschen, und folglich würde die Bestimmung von ε nur eine sehr beschränkte Genauigkeit haben. Um die Genauigkeit zu erhöhen, habe ich zu dieser Bestimmungsweise eine andere hinzugefügt, die mehr Zuverlässigkeit verspricht.

Ich habe immer den Phasenunterschied δ bei einer grofsen Zahl von Incidenzen gemessen, um daraus ε herzuleiten, und dabei als erste Annäherung die durch die vorherige Methode gefundenen Werthe von n und ε angenommen.

Mittelst dieser Werthe berechne ich

$$\text{tang}\, \delta'' = \varepsilon \sin i \,\text{tang}\,(i-r).$$

δ'' ist immer sehr klein, zwischen 10 und 20 Minuten eingeschlossen, und fast constant, wie auch die Incidenz seyn möge.

Man mifst also δ bei irgend einer Incidenz i und hat

$$\text{tang}\,\delta' = \text{tang}\,(\delta-\delta'') = \varepsilon \sin i \,\text{tang}\,(i+r).$$

In der Nähe der Hauptincidenz ist δ' viel gröfser als δ'', und folglich werden die in der Berechnung von δ'' begangenen Fehler den Winkel $\delta-\delta''$ nur unmerklich afficiren; man zieht daraus endlich

$$\varepsilon = \frac{\text{tang}\,(\delta-\delta'')}{\sin i\,\text{tang}\,(i+r)}.$$

Digitized by Google

Diese Relation lehrt so viele Werthe von ε kennen als man Bestimmungen von δ gemacht hat. Man erlangt hierdurch den Vortheil, die Beobachtungen zu vervielfältigen und Mittelwerthe aus verschiedenen Beobachtungen zu nehmen, und implicite, durch die Constanz der Werthe von ε, die allgemeinen Gesetze der Phasendifferenz für alle angewandten Substanzen zu bestätigen. Alle in der folgenden Tabelle enthaltenen Werthe von ε sind aus acht oder zehn auf diese Weise gemachten Beobachtungen hergeleitet.

Die Tafel am Schlufs enthält, gegenüber den Namen der angewandten Substanzen, zuvörderst die Hauptincidenzen und die Amplitudenverhältnisse k bei denselben, also die beiden experimentellen Constanten, die wir schon im ersten Theil dieser Abhandlung besprachen, dann die Werthe von ε, hergeleitet aus allen gemachten Messungen, und endlich die Brechindexe, bestimmt durch Reflexionsversuche und direct gemessen. Ich habe diese directe Bestimmung in allen Fällen gemacht, wo es die Durchsichtbarkeit der Substanz erlaubte, und habe diefs durch ein Sternchen bemerkt. Auch habe ich die Indices angegeben, die andere Physiker an Substanzen mafsen, die entweder mir nicht gehörten, oder die wegen ihrer geringen Dimensionen nicht zu Prismen geschliffen werden konnten. Die durch diese beiden Methoden gefundenen Indices weichen nur wenig von einander ab, wenn man erwägt, wie geringe Genauigkeit die Messungen der Winkel der Hauptpolarisation zulassen.

Digitized by Google

Tafel

über die Constanten der elliptischen Polarisation bei verschiedenen Substanzen.

	I.	*k.*	*ε.*	*n.*	
Positive Substanzen.					
Selen	68° 5′	0,1750	0,1200	2,605	
Steinkohle	59 17	0,1022	0,1158	1,701	
Turmalin	58 25	0,0829	0,0864	1,645	1,668
Bleiglätte	61 0	0,0945	0,0825	2,076	
Realgar	67 26	0,0850	0,0791	2,454	2,420*
Kalkspath, senkr. gegen d. Axe	59 0	0,0591	0,0606	1,675	1,654
Anthracit	59 42	0,0545	0,0548	1,720	
Strafs, dunkelblau	57 53	0,0437	0,0492	1,597	
Flintglas, Matthiessen *A*	59 14	0,0349	0,0365	1,683	
Arsenige Säure	59 24	0,0349	0,0332	1,692	
Blende	67 6	0,0420	0,0296	2,371	2,369
Flintglas, Faraday *B*	60 16	0,0287	0,0285	1,755	
Antimonglas	63 34	0,0290	0,0258	2,013	2,010*
Borsaures Blei	61 16	0,0266	0,0256	1,825	1,866
Asphalt	57 38	0,0250	0,0252	1,579	
Carneol	56 53	0,0213	0,0245	1,534	
Grünes Glas	56 46	0,0199	0,0218	1,527	
Hausenblase	56 28	0,0184	0,0199	1,509	1,520*
Aloëharz	58 18	0,0181	0,0197	1,619	1,634
Diamant	67 30	0,0190	0,0180	2,434	2,439
Flintglas, Guinand *C*	59 44	0,0180	0,0170	1,714	1,710*
Topas	58 36	0,0154	0,0161	1,638	1,638
Strafs, farblos *D*	57 53	0,0133	0,0158	1,593	1,580*
Beryll, senkr. gegen d. Axe	57 21	0,0133	0,0145	1,560	1,598
Flintglas, *E*	58 12	0,0114	0,0120	1,613	1,614*
Granat	60 30	0,0111	0,0110	1,767	
Quarz	56 50	0,0102	0,0112	1,530	1,547
Bernstein	56 50	0,0098	0,0107	1,530	1,547
Diopsid	54 2	0,0095	0,0106	1,378	
Strafs, grün	58 36	0,0084	0,0089	1,638	1,620*
Copal	56 48	0,0084	0,0092	1,528	1,535
Strafs, dunkel rosenroth	58 17	0,0083	0,0088	1,618	1,618*
Rothes Glas	56 8	0,0076	0,0085	1,490	
Gummi arabicum	56 3	0,0071	0,0082	1,480	1,476
Flintglas, *E*	57 40	0,0076	0,0082	1,579	1,574
Alaun	55 22	0,0065	0,0075	1,448	1,457
Glas	56 5	0,0060	0,0075	1,487	
Colophon	55 15	0,0086	0,0070	1,545	1,543
Neutrale Substanzen.					
Alaun, senkr. geg. d. Octaëderaxe	55 0	0,0000	0,0000	1,428	
Menilith	56 0	0,0000	0,0000	1,482	
Negative Substanzen.					
Silex résinite bleu	55 13	0,0052	0,0059	1,439	
Flufsspath (Fluorine)	55 15	0,0084	0,0097	1,441	
Hyalith	54 52	0,0064	0,0074	1,421	

Digitized by Google

Schlufsfolgerung.

In dieser Abhandlung habe ich zu beweisen gesucht:

1. Dafs fast alle starren Substanzen das Licht unvollständig polarisiren.

2. Dafs sie die geradlinige Polarisation des einfallenden Bündels in eine elliptische verwandeln.

3. Dafs der Phasenunterschied der Componenten der reflectirten Bewegung bei der streifenden, hauptsächlichen und lothrechten Incidenz die Werthe 2π, $\frac{3}{2}\pi$ und π annimmt.

4. Dafs die Reflexionsgesetze von zwei Constanten abhängen, von dem Refractionsindex und dem Ellipticitätscoëfficienten.

5. Das alle Substanzen, deren Refractionsindex gröfser als 1,46 ist, die Phase der in der Einfallsebene polarisirten Strahlencomponenten vorrücken.

6. Dafs dagegen alle Substanzen von geringerem Index die Phase desselben Strahls zurückschieben.

7. Dafs gewisse Substanzen, deren Refractionsindex nahe gleich 1,46 ist, die Phase der beiden Componenten des reflectirten Strahls weder vor- noch zurückschieben, also das Licht geradlinig polarisiren, und den Uebergang zwischen den vorherigen zwei Categorien machen.

8. Dafs die von Hrn. Cauchy für die Reflexion des Diamants aufgestellten Formeln ohne Unterschied auf alle Körper der Natur anwendbar sind, während die von Fresnel nur für den besonderen Fall der geradlinigen Polarisation Geltung haben.

Endlich habe ich den Werth der beiden Constanten, welche die Reflexion regeln, für eine grofse Anzahl von Substanzen bestimmt.

Digitized by Google

IV. *Ueber die Reflexion des Lichts an der Oberfläche von Flüssigkeiten; von Hrn. Jamin.*

(*Ann. de chim. et de phys. T. XXXI. p.* 175.)

Eine erste Abhandlung über die Reflexion in durchsichtigen Körpern, welche ich die Ehre hatte dem Urtheile der Academie vorzulegen [1]), enthält eine bedeutende Zahl von Versuchen mit Körpern von sehr verschiedener Brechkraft und Natur. Sie führte zu Resultaten, die ich hier zur Erleichterung des Verständnisses der gegenwärtigen Abhandlung kurz aufzählen will.

Alle Physiker wissen, dafs wenn man einen Strahl von Wolken- oder anderem schwachen Lichte, winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt, auf eine polirte, nicht metallische Fläche fallen läfst, er bei einer gewissen Incidenz, die man *Polarisationswinkel* nennt, nach der Reflexion aufhört sichtbar zu seyn.

Diesen Versuch in absolutem Sinne auslegend, haben die Physiker geschlossen, die Auslöschung des Strahls sey vollständig; dieſs ist ein Irrthum. Es giebt noch in diesem Fall einen reflectirten Strahl, der zwar schwach ist, aber in seiner Intensität ein constantes Verhältnifs zum einfallenden Strahl besitzt, und nicht mehr unsichtbar oder zu vernachlässigen ist, sobald man, statt des Wolkenlichts, einen directen Sonnenstrahl reflectiren läfst. Er erreicht bei der besonderen Incidenz I, welche wir künftig *Hauptincidenz* nennen wollen, nur ein Intensitätsminimum k^2, niemals aber die Nullität.

Aufser dieser ersten, an den Reflexionsgesetzen zu machenden Abänderung besteht eine andere wichtige darin, dafs der Strahl seine Vibrationsart gänzlich ändert; es tritt nämlich zwischen den beiden Hauptcomponenten der reflectirten Bewegung eine Anomalie oder Phasendifferenz ein, die

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III., T. XXIX. p.* 263. (Es ist die vorhergehende Abhandlung.)

Digitized by Google

bei lothrechter Incidenz einer halben Welle gleich ist, bis zum Winkel des Polarisationsmaximums auf drei Viertel-Wellen steigt, und sich bei der Incidenz 90° zu einer ganzen Welle erhebt.

Diese Veränderung der Anomalie geschieht stetig, aber nicht gleichförmig. Wenn die Incidenz, von 0° oder 90° aus, zu- oder abnimmt, behält die Anomalie beinahe ihren anfänglichen Werth bis zu zwei Gränzincidenzen, einer höheren und einer niedrigeren als der Winkel *I*, worauf sie sich dann mit wachsender Geschwindigkeit bis zur Hauptincidenz verändert. Daraus folgt, dafs wenn der einfallende Strahl in irgend einem Azimute polarisirt war, er entweder elliptisch oder geradlinig vibrirt, je nachdem die Incidenzen zwischen jenen Gränzen liegen oder nicht.

Zwischen diesen beiden Klassen verschiedenartiger Erscheinungen giebt es übrigens eine leicht experimentell zu erweisende Relation. Die beiden Gränzincidenzen, bei denen die elliptische Polarisation anfängt und endigt, entfernen oder näheren sich, wenn der Werth von k zu- oder abnimmt, und fallen endlich zusammen, wenn dieser Null wird. Alsdann geht die Anomalie plötzlich von $\frac{1}{2}\lambda$ zu λ über; es giebt keine elliptische Vibration mehr, und man kommt auf den Fall zurück, der vor den erwähnten Versuchen allgemein vorausgesetzt wird.

Beim Studium einer grofsen Zahl von Substanzen habe ich bald erkannt, dafs sie zwei besondere Fälle darbieten. Sie alle zeigen zwar zwischen den Ellipticitätsgränzen eine, numerisch dieselben Veränderungen durchlaufende, Anomalie, allein sie unterscheiden sich durch das Zeichen der Anomalie, die positiv oder negativ seyn kann, je nachdem die parallel der Einfallsebene polarisirte Vibration gegen die darauf winkelrechte Componente voraus oder zurück ist. Es giebt also positiv reflectirende Substanzen und negativ reflectirende.

Bisher ist es nicht möglich gewesen, eine einfache Beziehung zwischen den Werth des Coëfficienten k und dem Brechungsindex aufzufinden; im Gegentheile läfst Alles glau-

Digitized by Google

ben, dafs beide Constanten von einander unabhängig sind. Allein in Ermangelung eines strengen Gesetzes läfst sich bemerken, dafs der Coëfficient k eine Tendenz hat, mit dem Index abzunehmen, und dafs er Null wird, wenn letzterer annähernd 1,45 ist. Nimmt der Index noch weiter ab, so erlangt der Coëfficient wieder einen Werth, welcher wächst.

Andererseits haben alle Substanzen, deren Index gröfser als 1,45 ist, eine positive Anomalie; die, deren Index kleiner ist, eine negative. Man kann also die Körper in eine regelmäfsige Reihe bringen, wenn man sie annähernd nach abnehmendem Index ordnet; zuvörderst haben sie eine positive Anomalie, zwischen Gränzen, die sich nähern bis sie zusammenfallen; dann eine negative Anomalie, die man innerhalb immer verschiedeneren Incidenzgränzen beobachtet.

Lange vor diesen Versuchen hatte Hr. Cauchy die Reflexion an der Oberfläche durchsichtiger isophaner Substanzen einer gelehrten Analyse unterworfen, und dabei bewiesen, dafs die Gesetze dieser Erscheinung nicht allein vom Brechungsindex abhängen, sondern noch von einer zweiten Constante ε, die man *Ellipticitätscoëfficienten* nennen kann. Das Daseyn dieser Constanten war bei weitem nicht für alle Körper nachgewiesen. Nur einige Versuche von Airy hatten sie für den Diamant muthmafsen lassen und Hr. Cauchy hatte, im Vertrauen auf alle damaligen Versuche, geglaubt, sie sey für alle Körper von mittlerer Brechbarkeit gleich Null. Aus den eben erwähnten Resultaten geht hervor, dafs ε fast niemals Null ist, und dafs die Formeln in ihrer ganzen Allgemeinheit für alle Fälle der Reflexion gültig sind, und sie mit merkwürdiger Genauigkeit darstellen.

Hier diese Formeln. Es bezeichnet darin $\tan^2\pi$ das Intensitätsverhältnifs der Hauptvibrationen und δ ihre Anomalie

$$\tan^2\pi = \frac{\cos^2(i+r)+\varepsilon^2\sin^2 i\sin^2(i+r)}{\cos^2(i-r)+\varepsilon^2\sin^2 i\sin^2(i-r)}$$

$$\delta = \delta' + \delta''$$

$$\tan\delta' = \varepsilon\sin i\tan(i+r);\quad \tan\delta'' = \varepsilon\sin i\tan(i-r).$$

Digitized by Google

Allein, um vollständig zu seyn, mufste die Theorie des gelehrten Mathematikers sowohl den Fall der positiven Anomalie als den der negativen umfassen, und hierin ist die Erfahrung nicht ohne Nutzen für die Theorie gewesen.

Bekanntlich haben Hr. Cauchy's Arbeiten über die doppelte Strahlenbrechung nicht allein alle Gesetze derselben dargestellt, sondern auch die Existenz eines dritten gebrochenen Strahls von eigenthümlichen Vibrations-Eigenschaften wahrscheinlich gemacht, der bisher noch nicht experimentell hat nachgewiesen werden können. Auch beim Acte der Reflexion findet Hr. Cauchy einen analogen, bisher nicht wahrgenommenen Strahl, der aber einen Einflufs auf die Reflexion ausübt und indirect in die obigen Formeln eingeht; beim Eindringen in die Substanzen erlöscht dieser Strahl in sehr kleiner, fast nullgleicher Tiefe, vermöge eines Auslöschungs-Coëfficienten, der unendlich seyn kann. Bei lothrechter Incidenz ist der Werth von ε verknüpft mit dem Auslöschungs-Coëfficienten k'' im reflectirenden Körper, und $k_{,,}$ in der Luft durch die Formel:

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{k''\lambda} - \frac{2\pi}{k_{,,}\lambda}.$$

Bei erster Veröffentlichung dieser Formeln hatte Hr. Cauchy angenommen, dafs in der Luft kein verschwindender Strahl vorkomme, oder dafs der Coëfficient $k_{,,}$ unendlich sey, durch welche Hypothese dann ε immer einen positiven Werth erhielt. Allein die von mir erwähnten Versuche zeigen, dafs ε positiv oder negativ seyn kann, lassen also glauben, dafs k'' und $k_{,,}$ beide einen endlichen Werth behalten.

Das sind nun die Haupt-Ergebnisse für die starren Körper; jetzt wollen wir dieselben Erscheinungen verfolgen, wenn die reflectirende Oberfläche flüssig ist. Bei diesen Versuchen tritt mehr als eine Schwierigkeit entgegen. Das Schwanken der Oberflächen hindert den Beobachter, die Kleinheit der zu messenden Wirkungen macht die Versuche mühsamer, und die Schwierigkeit der Einstellung erfordert eigen-

Digitized by Google

eigenthümliche, sehr genaue Apparate. Hier die Beschreibung des von mir angewandten.

Auf einem Brett AB mit Stellschrauben (Fig. 6 Taf. III.) ist ein getheilter Halbkreis, den man mittelst eines Niveaus lothrecht stellt. Zwei um das Centrum drehbare und mit Nonien, die eine Minute angeben, versehene Alhidaden tragen zwei inwendig geschwärzte Kupferröhren, welche an ihren Enden Fadenkreuze zur Bestimmung der Incidenzen, Nicol'sche Prismen zur Polarisation und Zerlegung des Lichts und, winkelrecht auf ihren Richtungen, getheilte Kreise zur Messung der Polarisationsazimute des einfallenden und reflectirten Strahls besitzen.

Auf dem Brette des Instruments steht ein Näpfchen (o) von schwarzem Glase, in welches man eine hinlängliche Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit giefst. Da die Fadenkreuze der beiden Fernröhre so ajustirt worden, dafs sie beständig auf das Centrum jedes derselben gerichtet sind, so bestimmt sich das Niveau durch die Bedingung, dafs die vier Fadensysteme bei jeder Incidenz im reflectirten Bilde in gerader Linie liegen.

Durchaus nothwendig ist es, mit Sonnenlicht zu operiren. Jedermann begreift nämlich, dafs wenn man etwaige Gangunterschiede zwischen den beiden Hauptstrahlen in der Nähe derjenigen Winkel messen will, bei dem einer dieser Strahlen ausgelöscht wird, man die Intensität desselben für das Auge wahrnehmbar machen mufs, dadurch, dafs man das einfallende Licht möglichst lebhaft nimmt. Diese Nothwendigkeit führt eine Schwierigkeit in der Orientirung mit sich und erfordert eine Complication des Instruments, weil der Sonnenstrahl durch das vordere Fernrohr geht, und bei jedesmaliger Aenderung der Incidenz seine Richtung ändern mufs. Ich versehe daher den Körper des Fernrohrs mit einem Halsband, der sich drang um ihn dreht, und mittelst eines Stifts einen kleinen Metallspiegel F trägt. Das Licht wird zunächst durch einen Heliostat in einer festen Richtung fortgesandt und darauf von dem Spiegel reflectirt; dann bringt man ihn in die Axe des Fernrohrs

Digitized by Google

indem man den Spiegel neigt, bis die Schatten der beiden Fadensysteme auf einem zu diesem Zweck in *D* angebrachten Schirm sich decken.

Beim Durchgang durch das Fernrohr mufs sich der Strahl immer in einem grofsen Azimut polarisiren; bei allen meinen Versuchen behält es den Werth von 85°. An der reflectirenden Fläche zerfällt er in zwei polarisirte Bündel; das in der Einfallsebene polarisirte hat eine sehr kleine Intensität ($\cos^2 85$), das andere, darauf winkelrecht polarisirte, eine sehr grofse ($\sin^2 85$). Das erste wird bei der Reflexion sehr wenig geschwächt, das andere sehr viel; allein da es dem einfallenden Strahl proportional bleibt und dieser durch eine zweckmäfsige Wahl des Azimuts intensiv gemacht worden ist, so bleibt es sichtbar und dem ersten vergleichbar.

Nach der Reflexion tritt der Strahl in das zweite Fernrohr und durchläuft zuvörderst den Compensator *G*, gebildet aus zwei etwas prismatischen Quarzplatten, die parallel der Axe geschnitten und über Kreuz gelegt sind. Diese prägen den beiden hindurchgehenden Strahlen, dem ordentlichen und aufserordentlichen, Gangunterschiede von entgegengesetztem Zeichen ein, und erzeugen durch deren Ueberdeckung den Effect einer einzigen Platte, die gleiche Dicke mit ihrem Unterschied hatte.

Die Axe dieser hypothetischen Platte stellt man in die Einfallsebene.

Die parallel und winkelrecht zur Einfallsebene polarisirten Componenten des reflectirten Strahls brechen sich dann ordentlich und aufserordentlich; sie erlangen einen Gangunterschied, der von der Dicke des durchlaufenden Quarzes bedingt wird und sich der Anomalie der Reflexion hinzufügt.

Da die beiden Quarzplatten des Compensators kreisförmig geschnitten, und gegen einander verkehrt gelegt sind, so verändert sich der Unterschied ihrer Dicken, wenn man die eine, parallel mit sich selbst, mittelst einer Mikrometerschraube auf der anderen verschiebt; der Beobachter kann

Digitized by Google

daher den Gangunterschied der beiden Componenten nach Belieben verändern, ihn der von der Reflexion erzeugten Anomalie gleich und im Zeichen entgegengesetzt machen, und den Werth desselben durch eine Graduirung des Compensators messen. Ist die Anomalie zerstört, so nimmt der reflectirte Strahl wieder geradlinige Polarisation an.

Nach dieser Umwandlung setzt der Strahl seinen Gang fort und geht durch das zweite Nicol'sche Prisma, welches das Azimut der wiederhergestellten Polarisation mifst. Die Tangente dieses Winkels ist gleich dem Amplitudenverhältnifs der beiden Componenten des reflectirten Strahls.

Ich habe nun die Resultate der Versuche, die mit diesem Instrumente nach der angegebenen Methode ausgeführt wurden, kennen zu lehren. Hier zunächst die mit *Lavendelöl* erhaltenen Zahlen. Die Substanz zeigt zwischen den Incidenzen 54° und 60° eine deutlich elliptische Polarisation. Der Gangunterschied variirt von $\frac{1}{2}\lambda$ bis λ und die Verschiebungen des Compensators müssen in demselben Sinn wie beim Glase geschehen, d. h. der Ellipticitätscoëfficient ε ist positiv. In der Nähe der Hauptincidenz reichen die geringsten Aenderungen der Incidenz hin, um den Werth der Phase aufserordentlich zu ändern, und die kleinsten Fehler, die man beim Messen dieser Incidenzen begeht, führen sehr merkliche in den Resultaten nach sich. Auch wird man beim Vergleiche der beobachteten und berechneten Zahlen gröfsere Unterschiede finden als in meiner früheren Abhandlung. Sollen diese Versuche genau seyn, so bedarf man nicht allein vollkommenerer Instrumente, sondern auch einer gröfseren Lichtintensität als die des Sonnenlichts, und homogener Strahlen.

Digitized by Google

Tafel I. *Lavendelöl.* (*Positive Reflexion.*)

$\varepsilon = +0{,}00150$; $I = 55° 37' 40''$; $n = 1{,}462$.

Incidenz.	Mikrometer.	Interferenz		Wiederhergestelltes Azimut.	ω.	
		beobachtet.	berechnet.		beob.	ber.
90° 0′	+ 0,00	+2,000	+2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0′
56 32	+ 0,42	+1,967	+1,971	16 0	1 26	1 24
56 20	+ 0,71	+1,944	+1,963	13 0	1 9	1 7
56 14	+ 0,80	+1,941	+1,958	10 20	0 55	0 58
56 8	+ 0,86	+1,932	+1,949	8 40	0 46	0 48
56 2	+ 1,06	+1,917	+1,938	6 15	0 33	0 39
55 56	+ 0,99	+1,922	+1,918	4 45	0 25	0 30
55 50	+ 1,29	+1,899	+1,878	4 20	0 23	0 21
55 44	+ 3,08	+1,758	+1,796	1 58	0 13	0 13
55 38	+ 6,36	+1,501	+1,522	1 18	0 7	0 8
55 32	+ 9,15	+1,282	+1,224	1 40	0 9	0 12
55 26	+10,37	+1,187	+1,123	4 20	0 23	0 19
55 20	+11,02	+1,136	+1,087	5 30	0 29	0 29
55 14	+11,43	+1,103	+1,081	6 22	0 33	0 38
55 8	+11,71	+1,081	+1,051	8 50	0 47	0 47
55 2	+12,16	+1,046	+1,042	10 20	0 56	0 57
54 56	+12,16	+1,046	+1,036	13 10	1 10	1 6
54 50	+12,21	+1,042	+1,032	14 30	1 18	1 15
54 44	+12,31	+1,034	+1,029	16 50	1 29	1 25
54 38	+12,36	+1,030	+1,025	18 0	1 37	1 34
0	+12,75	+1,000	+1,000	85 0	45 0	45 0

Im vorstehenden Beispiele war der Ellipticitätscoëfficient positiv, d. h. die in der Einfallsebene polarisirte Vibration war der auf ihr winkelrechten voraus. Die beiden folgenden Tafeln enthalten Resultate entgegengesetzter Art; sie beziehen sich auf zwei Flüssigkeiten von sehr kleinem Brechungsindex, auf destillirtes, durch Sieden von Luft befreites Wasser, und auf eine Lösung von Eisensesquichlorür in dem sechsfachen Gewichte Wasser. Bei letzteren wird man ohne Zweifel erstaunt seyn, einen fast eben so grofsen Ellipticitätscoëfficienten wie den des Diamant zu finden.

Digitized by Google

Tafel II. *Wasser.* (*Negative Reflexion.*)

$\varepsilon = -0{,}00577$. $I = 53° 7'$. $\varepsilon = 1{,}333$.

Incidenz	Mikrometer.	Interferenz beobachtet.	Interferenz berechnet.	Wiederhergestelltes Azimut.	ω beob.	ω ber.
90° 0′	0,00	− 2,000	− 2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0′
55 36	— 0,14	— 1,981	— 1,976	39 0	4 3	4 2
54 54	— 0,29	— 1,977	— 1,969	23 0	2 7	2 55
54 30	— 0,54	— 1,957	— 1,961	16 0	1 26	2 16
54 3	— 0,80	— 1,937	— 1,942	12 30	1 7	1 34
53 50	— 1,06	— 1,917	— 1,925			1 14
53 42	— 1,29	— 1,899	— 1,909	10 37	0 56	0 59
53 35	— 1,47	— 1,884	— 1,888	8 59	0 47	0 48
53 30	— 1,86	— 1,854	— 1,860	7 30	0 40	0 41
53 23	— 2,18	— 1,829	— 1,819	5 30	0 29	0 31
53 19	— 3,48	— 1,727	— 1,776	5 30	0 29	0 28
53 15	— 3,79	— 1,703	— 1,712	4 30	0 24	0 26
53 12	— 4,80	— 1,623	— 1,646	3 52	0 20	0 18
53 9	— 5,68	— 1,554	— 1,562	3 0	0 16	0 18
53 7	— 6,38	— 1,500	— 1,500	3 0	0 16	0 16
53 6	— 7,21	— 1,434	— 1,470	3 0	0 16	0 16
53 3	— 8,47	— 1,436	— 1,382	3 0	0 16	0 18
52 59	— 8,99	— 1,295	— 1,288	3 50	0 20	0 21
52 55	— 9,56	— 1,250	— 1,224	5 4	0 27	0 15
52 50	— 10,79	— 1,153	— 1,171	6 0	0 31	0 29
52 46	— 11,04	— 1,134	— 1,143	6 4	0 32	0 30
52 42	— 10,99	— 1,138	— 1,129	8 55	0 47	0 35
52 38	— 11,40	— 1,106	— 1,107	10 15	0 54	0 50
52 31	— 11,64	— 1,087	— 1,087	13 15	1 5	1 0
52 26	— 11,74	— 1,079	— 1,077	13 50	1 10	1 9
52 16	— 11,86	— 1,070	— 1,062	15 54	1 25	1 24
52 5	— 12,01	— 1,058	— 1,051	19 7	1 41	1 42
51 45	— 12,04	— 1,054	— 1,039	21 10	1 56	2 16
51 24	— 12,16	— 1,046	— 1,030	24 0	2 14	2 48
50 56	— 12,34	— 1,032	— 1,024	29 0	2 47	2 34
0 0	— 12,75	— 1,000	— 1,000	85 0	45 0	45 0

Tafel III. *Lösung von Eisensesquioxyd.* (*Negative Reflexion.*)

$\varepsilon = -0{,}01056$. $I = 53° 55'$. $n = 1{,}372$.

90° 0′	0,00	− 2,000	− 2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0
55 29	— 0,59	— 1,954	— 1,935	26 0	2 27	2 35
55 23	— 0,79	— 1,938	— 1,931	25 0	2 20	2 35
55 17	— 0,89	— 1,930	— 1,926	24 0	2 14	2 16
55 11	— 0,99	— 1,912	— 1,921	23 0	2 8	2 7
55 5	— 0,89	— 1,930	— 1,914	20 0	1 49	1 57
54 59	— 1,13	— 1,911	— 1,907	19 0	1 44	1 48
54 53	— 1,28	— 1,899	— 1,898	18 0	1 38	1 39
54 47	— 1,44	— 1,887	— 1,887	15 30	1 23	1 29
54 40	— 1,69	— 1,867	— 1,874	14 0	1 15	1 21

Digitized by Google

Incidenz.	Mikrometer.	Interferenz		Wiederhergestelltes Azimut.	ω	
		beobachtet.	berechnet.		beob.	ber.
54°35′	— 1,93	— 1,848	— 1,858	13° 0′	1° 9′	1° 8′
54 29	— 2,14	— 1,832	— 1,837	10 30	1 0	1 3
54 23	— 2,42	— 1,810	— 1,809	9 0	0 48	0 55
54 17	— 3,28	— 1,743	— 1,773	8 30	0 45	0 47
54 11	— 3,75	— 1,706	— 1,723	8 0	0 42	0 40
54 5	— 4,60	— 1,639	— 1,656	7 0	0 37	0 35
53 59	— 5,78	— 1,546	— 1,575	7 0	0 37	0 35
53 55	— 6,38	— 1,500	— 1,500	7 0	0 37	0 32
53 50	— 7,44	— 1,416	— 1,422	7 0	0 37	0 32
53 44	— 8,14	— 1,361	— 1,377	8 30	0 45	0 35
53 38	— 8,69	— 1,318	— 1,271	8 30	0 45	0 41
53 32	— 9,53	— 1,252	— 1,222	9 0	0 48	0 48
53 26	— 10,41	— 1,183	— 1,187	10 0	0 53	0 55
53 26	— 10,69	— 1,161	— 1,159	12 0	1 4	1 4
53 14	— 10,94	— 1,142	— 1,139	13 30	1 12	1 12
53 8			— 1,123	16 0	1 26	1 21
53 2	— 11,32	— 1,101	— 1,110	18 0	1 38	1 30
52 56	— 11,48	— 1,099	— 1,099	18 0	1 38	1 39
52 50	— 11,57	— 1,092	— 1,091	20 0	1 55	1 49
52 44	— 11,86	— 1,070	— 1,083	22 0	2 1	1 58
52 38	— 11,98	— 1,060	— 1,077	24 0	2 14	2 7
52 32	— 12,15	— 1,047	— 1,071	25 0	2 20	2 21
52 25	— 12,31	— 1,036	— 1,066	26 0	2 27	3 5
0	— 12,75	— 1,000	— 1,000	85 0	45 0	45 0

Ich habe es nicht für nöthig erachtet, die Beispiele dieser Arten von Wirkungen zu vervielfältigen; die vorstehenden, aufs Gerathewohl genommenen, werden hinreichen, um die Schlüsse meiner früheren Abhandlung auf die Reflexion an Flüssigkeiten auszudehnen. Das allgemeine Gesetz besteht in dem Daseyn nicht einer geradlinigen, sondern elliptischen Polarisation, die positiv oder negativ seyn kann; sie findet sich zwischen Gränzincidenzen, die der Hauptincidenz sehr nahe liegen, einander näher oder ferner liegen, und selbst zusammenfallen können.

Man wird mir überdiefs die Bemerkung erlauben, dafs diese neuen Versuche nicht blofs den Zweck haben, die früheren Versuche fortzusetzen und zu bestätigen, sondern auch den Sinn und die Wichtigkeit derselben zu bestätigen.

Klar ist nämlich, dafs die starren Substanzen durch die mechanischen Actionen des Polirens in einen eigenthümlichen Zustand gerathen und ihre Elasticität verändern, von

Digitized by Google

der mathematischen Oberfläche ihrer Begränzung an bis zu einer gewissen Tiefe im Innern. Man kann sie also betrachten als gebildet aus einer Uebereinanderlage dünner paralleler Schichten von verschiedenem Brechungsindex und konnte fürchten, dafs die Reflexion des Lichts nicht blofs an der Trennungsfläche, sondern auch am Uebergange von einer dieser Schichten zur anderen stattfände. Nun aber wäre die nothwendige Folge einer solchen Action das Daseyn einer unvollständigen Polarisation und einer Interferenz zwischen den beiden elementaren reflectirten Strahlen. Und wenn dieser Einwurf gegründet wäre, würden die bezeichneten Gesetze, obgleich allgemein und die Erscheinungen repräsentirend, diesem durch die Politur bedingten gezwungenen Gleichgewicht zugeschrieben werden müssen, und sich nicht bewähren in dem Fall, wo die Elasticität der Substanzen natürlich nur von den Molecularkräften geregelt wird. Wie sonderbar die Erscheinungen auch seyn möchten, würde man sie doch nur als Abweichungen zu betrachten haben, hervorgegangen aus Fehlerquellen, die man eliminiren mufste.

Ohne den Einflufs eines solchen Zustandes ganz und gar läugnen zu wollen, könnte man Bemerkungen aufstellen, die den Werth dieser Einwürfe herabsetzen.

Unter den von mir angewandten Substanzen befanden sich viele, die im Groben auf einer Glasplatte geschliffen und dann auf ausgespanntem Leder vollkommen polirt worden waren; dieses Verfahren übte keinen Druck und keine Aenderung der Elasticität aus. Andere krystallinische Substanzen hatten durchaus keine künstliche Politur erfahren, denn es waren entweder natürliche Flächen oder Spaltungsflächen benutzt worden. Unter diesen Körpern hatte ich die Blende untersucht, deren Ellipticitätscoëfficient sehr grofs ist.

Ueberdiefs hatte ich den dreifachen Umstand der positiven, geradlinigen und negativen Reflexion hervorgehoben, und gezeigt, dafs er zu den mehr oder weniger grofsen Werth des Brechungsindex in Beziehung zu stehen

Digitized by Google

scheine, und keine Beziehung zur Natur der Politur habe. Alle diese Gründe endlich, die ich anführte, um mich zu überzeugen und die Einwürfe zu heben, forderten zu einer entscheidenden Probe auf, zum Studium der Reflexion bei Flüssigkeiten. Wie man so eben gesehen, ist ihre Polarisation elliptisch, und die Ursache derselben kann unmöglich in eine anomale Molecular-Constitution gesetzt werden.

Ich habe es für nöthig gehalten, den Reflexionscoëfficienten bei einer grofsen Zahl von Flüssigkeiten zu bestimmen, um zu sehen, ob es ein Gesetz gebe, welches den Werth von ε mit dem des Brechungsindex verknüpfe. Unglücklicherweise ist diese Untersuchung wegen der Kleinheit von ε sehr schwierig.

Man kann diese Bestimmung auf zweierlei Weisen machen. Die erste beteht darin, dafs man die Hauptincidenzen nimmt, bestimmt durch die Bedingung $\delta = \frac{1}{4}\lambda$, dafs man diese Anomalie mittelst des Compensators compensirt, und das Azimut β der wiederhergestellten Polarisation aufsucht. Die Tangente dieses Winkels würde gleich k seyn, wenn das einfallende Azimut 45° wäre; ist dieses α, so wird sie gegeben seyn durch die Formel:

$$\text{tang}\,\beta = k\,\text{tang}\,\alpha \quad \text{woraus} \quad k = \frac{\text{tang}\,\beta}{\text{tang}\,\alpha}.$$

Ich operirte immer mit den Werthen von α gleich 85, 86, 87 und 88 Grad, nahm die Azimute positiv und negativ um die Fehler der Ablesung zu berichtigen, und erhielt somit vier Werthe von k durch vier Bestimmungen von β. Die Fehler dividirten sich durch die immer sehr grofse Tangente von α, und reducirten sich so auf einen sehr kleinen Zahlenwerth, was indefs nicht beweifst, dafs k sehr genau bestimmt sey, denn es ist immer sehr klein und der bei seiner Bestimmung begangene Fehler könnte ein sehr bedeutender Theil seines eigenen Werthes seyn. Ist k einmal erhalten, läfst sich ε leicht berechnen.

Die zweite Methode, die ich neben der ersten angewandt habe, führt nicht zu sichereren Resultaten; ihr gemäfs

Digitized by Google

sucht man bei Einfallswinkeln, die der Hauptincidenz nahe liegen, mehre Werthe der Anomalie δ auf, und, da in Hrn. Cauchy's Formeln δ'' nur vernachläfsigbare Werthe besitzt, hat man:

$$\text{tang}\,\delta = \varepsilon \sin i \,\text{tang}\,(i+r),$$

nach welcher Formel man so viele Werthe von ε finden kann, als man Bestimmungen von δ hat. Allein es ist zu bemerken, dafs die geringsten Variationen der Incidenz beträchtliche Aenderungen von δ bewirken, und dafs, wenn man sich in der Messung dieser Incidenzen irrt, die berechnete Tangente von $(i+r)$, welche immer ungemein grofs ist, sehr von ihrem wahren Werth entfernt seyn wird, und dieser Fehler wirft sich auf ε.

Klar ist also, dafs die gegenwärtig bekannten Processe keine sehr grofse Genauigkeit in der Bestimmung von k oder ε versprechen. Ich kann versichern, dafs die Versuche mit der gröfsten Sorgfalt angestellt und stets mehrmals wiederholt wurden, darf aber defsungeachtet nicht behaupten, dafs die in der folgenden Tafel enthaltenen Messungen von k definitiv seyen. Die angegebenen Brechungsverhältnisse sind durch directe Versuche bestimmt worden.

Tafel IV.

	k.	I.	n.
Positive Substanzen.			
Steinkohlentheer	0,00823	60° 30′	1,768
Jodwasserstoffäther	283	56 37	1,503
Lavendelöl	250	55 37	1,462
Terpenthinöl	237	55 36	
Amylen	233	56 5	1,487
Anisöl	231	57 12	1,555
Salpeteräther	225	54 37	1,381
Rosmarinöl	223	55 45	1,472
Badianöl	216	57 20	1,555
Chlorzink, gesättigt	213	56 34	1,543
Camphron	212	56 30	1,503
Wermuthöl	212	56 15	1,473
Cajeputöl	212	55 51	1,465
Absoluter Alkohol	208	53 38	
Fenchelöl	203	55 59	1,492
Melissenöl	201	56 26	1,480

Digitized by Google

	k.	*I.*	*n.*
Kümmelöl	0,00200	56° 3′	1,489
Wachholderöl	200	55 57	1,479
Pfefferöl	195	46 5	1,490
Copaivaeöl	193	56 27	1,498
Serpillumöl	191	55 47	1,479
Lorbeeröl	189	56 59	1,540
Nelkenöl	189	56 56	1,535
Benzoëäther	188	56 55	1,503
Bromirte holländische Flüssigkeit	185	56 52	1,532
Oenanthol	183	54 51	1,4119
Chamillenöl	174	55 27	1,456
Kampferöl	168	55 48	1,461
Pimentöl	166	56 41	1,531
Sadebaumöl	168	55 45	1,472
Aceton	165	53 55	1,3591
Oxaläther	154	55 45	1,4068
Chloral	154	55 25	1,461
Essigäther	117	53 45	1,367
Essigsaures Methylen	101	53 47	1,359
Neutrale Substanzen.			
Schwefelsaures Eisensesquioxyd, 7 : 4	0	55 33	1,458
do. do. 1 : 1	0	55 3	1,431
Glycerin	0	54 42	1,413
Neutrales essigsaures Bleioxyd, gesättigt	0	54 3	1,379
Manganchlorür 1 : 2	0	53 29	1,350
Goldchlorür 2 : 13	0	53 18	1,342
Salpeters. Nickel 1 : 3	0	53 8	1,334
Negative Substanzen.			
Saures chromsaures Kali 1 : 6	0,00170	53 24	1,346
Schwefelsaures Kupferoxyd, gesättigt	171	53 49	1,359
Jodkalium 1 : 4	206	53 25	1,347
Essigsaures Kupfer, gesättigt	243	53 6	1,333
Chlorzink 2 : 3	378	54 30	1,401
Platinchlorid 2 : 13	400	53 27	1,349
Salpetersaures Uranoxyd	430	53 27	1,349
Chromalaun 1 : 4	514	53 28	1,355
Salpetersaures Natron 3 : 2	561	53 24	1,389
Wasser	577	53 7	1,333
Salpetersaures Kali, gesättigt	666	53 37	1,357
Basisch essigsaures Blei, gesättigt	1027	53 27	1,349
Eisensesquichlorür 1 : 3	1056	53 55	1,372
Chlorzink 1 : 3	1152	53 44	1,371
Schwefelsaures Natron 1 : 4	0,01383	53 28	1,344

Beim Durchlaufen dieser Tafel wird man das von uns für die starren Körper aufgefundene allgemeine Gesetz der Veränderungen von *k* und *n* bestätigt finden, mit dem Um-

Digitized by Google

stand, dafs n nicht immer abnimmt, wenn ε für die positiven Substanzen ab-, und für die negativen zunimmt.

Man wird auch sehen, dafs die Flüssigkeiten, welche das Licht geradlinig polarisiren, äufserst verschiedene, von 1,33 bis 1,45 gehende Brechungsindexe haben. Es ist jedoch dabei hinzuzufügen, dafs die angewandten Verfahren nicht darüber entscheiden können, ob die Ellipticitätscoëfficienten durchaus Null seyen; sie können nur beweisen, dafs dieselben kaum merklich sind, und daher könnten möglicherweise die als neutral betrachteten Substanzen es nicht absolut seyn.

Die negativen Substanzen, welche wir antrafen, sind ausschliefslich Salzlösungen; einige derselben haben einen höheren Brechungsindex als gewisse positiv polarisirende Aether. Sie erlauben eine nützliche Bemerkung zu machen; nämlich, dafs im Allgemeinen, wenn man dem Wasser Salz hinzufügt, der Coëfficient k desselben wächst, und, ohne positiv zu werden, sehr grofse Werthe annehmen kann, und, wenn man die Concentration der Lösung erhöht, der Coëfficient E abnimmt, Null wird und zu positiven Werthen übergeht. Diefs erhellt aus den unten folgenden Versuchen mit Chlorzink und salpetersaurem Kupfer.

Endlich müssen wir bemerken, dafs von den starren Körpern die positiven einen sehr grofsen, und die negativen einen sehr kleinen Ellipticitätscoëfficienten hatten, während bei den Flüssigkeiten das Gegentheil stattfindet.

Tafel V. — *Chlorzink.*

Verhältnifs vom Salz zum Wasser.	k.	I.	n.
Gesättigt.	+ 0,00213	56° 34′	1,548
25 : 15	+ 0,00103	55 30	1,455
75 : 75	+ 0,0092	55 0	1,443
20 : 80	— 0,00378	54 30	1,401
20 : 60	— 0,01152	53 44	1,371
0	— 0,00577	53 7	1,333

Digitized by Google

Tafel VI. *Salpetersaures Kupfer.*

Verhältnifs vom Salz zum Wasser.	k.	J.	n.
Gesättigt.	+ 0,00135	55° 40′	1,464
75 : 15	+ 0,0085	55 32	1,457
80	+ 0,0073	55 12	1,439
1 : 1	— 0,00206	54 27	1,399
1 : 2	— 0,00264	53 48	1,366
0	— 0,00577	53 7	1,333

Es bleibt mir noch übrig von einigen Versuchen zu sprechen, die ich zuletzt auf den Rath des Hrn. Cauchy anstellte, um seine Theorie noch auf eine Probe zu stellen, die nicht in allen Fällen den mathematischen Voraussetzungen entspricht.

Ich sagte vorhin, der Ellipticitätscoëfficient wurde gegeben durch die Formel

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{k''\lambda} - \frac{2\pi}{k_{,,}\lambda}$$

worin k'' und $k_{,,}$ die Auslöschungscoëfficienten der in der reflectirenden Substanz und in der Luft verschwindenden Strahlen bezeichnen.

Dieser Ausdruck, auf alle möglichen Fälle angewandt, gilt auch für eine zweite reflectirende Substanz, deren Coëfficient $\varepsilon_{,}$ wäre:

$$\varepsilon_{,} = \frac{2\pi}{k''\lambda} - \frac{2\pi}{k_{,,}\lambda}.$$

Gesetzt nun, man lege, nach dem ε und $\varepsilon_{,}$ bestimmt worden, die beiden Substanzen, von denen wenigstens eine flüssig seyn mufs, auf einander, dann wird der Ellipticitätscoëfficient beim Contact seyn:

$$\varepsilon_{,,} = \frac{2\pi}{k''_1\lambda} - \frac{2\pi}{k_{,,}\lambda} = \varepsilon_{,} - \varepsilon.$$

Es können nun drei Fälle eintreten:

1. Von den Coëfficienten ε_1 und ε ist der erste positiv und der zweite negativ; alsdann ist ε_2 positiv und numerisch gleich der Summe der Coëfficienten der beiden auf einander gelegten Körper.

Digitized by Google

2. Die beiden Gröfsen ε_1 und ε können von gleichen Zeichen seyn, alsdann ist ε_2 gleich ihrem Unterschiede; und wenn sie gleich wären, würde die geradlinige Polarisation wiederhergestellt seyn.

3. Ist ε_1 negativ und ε positiv, so wird ε_2 negativ und numerisch gleich der Summe von ε_1 und ε_2.

Um diese Reflexionsversuche an der Trennungsfläche zweier Mittel anzustellen, mufste ich eine neue Complication in meinen Apparat einführen. Auf den Alhidaden der beiden Fernröhre *D* und *E* und in Verlängeung der letzten liefs ich zwei Kupferröhren befestigen, die nach Belieben fortgenommen werden konnten und an ihrem dem Centro nahen Ende verschlossen waren durch ein auf ihrer Richtung winkelrechtes Parallelglas. Beim Versuche tauchten diese Enden in die über einander geschichteten Flüssigkeiten und der Ein- oder Austritt der Componenten des einfallenden oder reflectirten Strahls geschah an derselben normal, ohne eine Aenderung in deren Azimut, Phase oder Intensitätsverhältnifs zu erleiden.

Um den ersten Fall zu prüfen, machte ich zwei Versuchs-Reihen, bei welchen die Reflexion an einem Planglase geschah, welches mit Wasser oder der vorhin angewandten Eisenchlorür-Lösung übergossen worden war.

Die Reflexionsconstanten am Contact des Wassers und des Glases waren nach der Theorie:

$$n_2 = \frac{n_1}{n} = 1{,}115; \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon = +0{,}01329$$

nach der Beobachtung:

$$n_2 = 1{,}115; \quad \varepsilon_2 = +0{,}02078.$$

Der beobachtete Werth von ε_2 übersteigt also den nach der Theorie berechneten beträchtlich.

Bei Ersetzung des Wassers durch Eisensesquichlorür fand ich

Nach d. Theorie . . . . $n_2 = 1{,}094$ $\varepsilon_2 = +0{,}01808$

Nach d. Versuch . . . . $n_2 = 1{,}091$ $\varepsilon_2 = +0{,}01355$

Hier ist der beobachtete Werth von ε_2 kleiner als der berechnete.

Digitized by Google

Die in beiden Fällen ausgeführten Beobachtungen waren übrigens folgende; sie bestätigen die allgemeinen Gesetze, welche in allen Reflexionsfällen die Anomalien und die Amplitudenverhältnisse regeln.

Tafel VII. — *Glas unter Wasser.* (*Positive Reflexion.*)

$\varepsilon = +0{,}02078$. $I = 58°\,7'$. $n = 1{,}115$.

Incidenz.	Mikrometer.	Interferenz beobachtet.	Interferenz berechnet.	Wiederhergestelltes Azimut.	ω beob.	ω ber.
90° 0′	+ 0,00	+2,000	+2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0′
49 0	+ 1,51	+1,881	+1,837	21 30	1 58	1 53
48 48	+ 2,51	+1,823	+1,794	17 0	1 32	1 32
48 36	+ 2,79	+1,791	+1,745	14 0	1 15	1 15
48 24	+ 3,76	+1,705	+1,665	12 0	1 4	1 2
48 18	+ 4,61	+1.639	+1,613	11 0	0 58	0 57
48 12	+ 5,66	+1,556	+1,553	10 15	0 54	0 54
48 6	+ 6,46	+1,493	+1,477	8 0	0 42	0 36
48 0	+ 6,76	+1,470	+1,425	10 0	0 53	0 55
47 54	+ 7,74	+1,393	+1,367	11 30	1 1	0 59
47 48	+ 9,03	+1,292	+1,317	12 30	1 7	1 3
47 36	+ 9,71	+1,238	+1,239	16 30	1 29	1 17
47 24	+10,37	+1,186	+1,186	18 30	1 41	1 36
47 12	+10,43	+1,182	+1,154	21 30	1 58	1 53
47 6	+10,73	+1,158	+1,137	22 0	2 1	2 6
46 48	+10,89	+1,146	+1,111	25 0	2 20	2 33
0 0	+12,75	+1,000	+1,000	85 0	45 0	45 0

Tafel VIII. *Glas unter Eisenchlorür.* (*Positive Reflexion.*)

$\varepsilon = +0{,}01355$. $I = 47°\,30'$. $n = 1{,}091$.

90° 0′	+ 0,00	+2,000	− 2,000	85° 0′	45° 0′	45° 0′
48 40	+ 1,16	+1,910	− 1,895	22 15	2 3	2 16
48 25	+ 1,30	+1,898	− 1,894	22 30	2 5	1 47
48 17	+ 1,51	+1,877	− 1,875	17 30	1 35	1 34
48 2	+ 2,02	+1,841	− 1,830	11 10	0 59	0 55
47 50	+ 3,15	+1,753	− 1,763	10 30	0 56	0 51
47 44	+ 3,82	+1,700	− 1,703	7 15	0 38	0 43
47 39	+ 4,59	+1,646	− 1,643	6 30	0 34	0 41
47 32	+ 5,93	+1,535	− 1,534	6 20	0 31	0 34
47 30	+ 6,37	+1,500	− 1,500	6 30	0 34	0 34
47 27	+ 6,89	+1,460	− 1,449	7 35	0 40	0 35
47 20	+ 8,28	+1,351	− 1,343	7 55	0 42	0 39
47 11	+ 9,71	+1,239	− 1,246	9 20	0 49	0 49
47 4	+10,07	+1,210	− 1,197	10 0	0 53	0 59
46 47	+10,35	+1,141	− 1,129	15 0	1 21	1 26
46 35	+11,35	+1,111	− 1,114	20 0	1 49	1 47
46 25	+11,59	+1,091	− 1,095	24 30	2 17	1 55
46 16	+11,70	+1,082	− 1,077	28 15	2 41	2 21
46 3	+11,93	+1,064	− 1,067	34 22	3 25	2 44
45 30	+12,45	+1,027	− 1,050	37 0	3 46	3 33
0	+12,75	+1,000	− 1,000	85 0	45 0	45 0

Digitized by Google

Zur Untersuchung des zweiten Falles, wo zwei Substanzen mit Coëfficienten von gleichem Zeichen einander überdecken sollen, brachte ich Lavendelöl auf Glas. Die Theorie giebt an, dafs die Coëfficienten in der Luft einander subtrahiren, und dafs ε_2 den Werth $+0{,}00502$ habe, einen Werth, der gröfser ist als der aller von mir untersuchten Flüssigkeiten und deshalb bei dem Versuch nicht entgehen könnte. Defsungeachtet schien mir die Polarisation genau geradlinig zu seyn.

Man sieht, die Erfahrung bestätigt die theoretischen Angaben nicht vollständig; sie zeigt zwar, dafs beim Contact zweier Körper die Ellipticitätscoëfficienten bedeutend zunehmen, wenn die individuellen Werthe von ε in der Luft entgegengesetztes Zeichen besitzen, und dafs sie Null werden, wenn diese von gleichem Zeichen sind; allein sie bestätigt nicht numerisch die Schlüsse des Hrn. Cauchy. Indefs würde ich wegen der geringen Lichtmenge, die beim Contact zweier Körper reflectirt wird, und wegen der Schwierigkeit aller Art, welche diese Versuche mit sich führen, auf diese Abweichungen keine sehr grofse Wichtigkeit legen, wenn nicht der dritte Fall, der mir noch zu untersuchen übrig bleibt, Unregelmäfsigkeiten dargeboten hätte, welche durch Beobachtungsfehler nicht zu erklären sind.

Ich habe Lavendelöl auf eine Schicht Wasser gegossen. Die Anomalie hätte negativ seyn müssen, mit einem Ellipticitätscoëfficienten $= -0{,}00827$; statt defs war sie positiv und $\varepsilon = +0{,}01160$. Als ich bei diesem Versuch das Lavendel- durch Terpenthinöl ersetzte, hatte ich eine geradlinige Polarisation, während ich, der Theorie nach, eine elliptische mit negativer Anomalie hätte erhalten müssen.

Es giebt hier ohne Zweifel eine Complication, welche die Theorie des Hrn. Cauchy nicht vorausgesehen hat. Es läfst sich nämlich denken, dafs beim Contact zweier Körper, wenn der eine von ihnen flüssig ist, eine Molecularaction stattfindet, die man nicht in dem Calcul berücksichtigte und die sich der Verification widersetzt. Jedenfalls erfordert dieser Punkt neue Versuche, die mir sehr

Digitized by Google

interessant zu seyn scheinen und die ich schon unternommen haben würde, wenn ich nicht durch den Winter gezwungen worden wäre, sie einer künftigen Abhandlung vorzubehalten.

Schlüsse.

Die gegenwärtige Abhandlung bestätigt die Schlüsse meiner früheren; sie zeigt:

1. Dafs flüssige Oberflächen das Licht unvollständig und elliptisch polarisiren.
2. Dafs Flüssigkeiten, deren Brechungsindex grofs ist, eine positive Anomalie besitzen.
3. Dafs diese Anomalie bei sehr kleinem Index negativ ist.
4. Dafs bei Flüssigkeiten mit einem Index von beinahe 1,40 die Polarisation geradlinig ist.
5. Dafs die Gesetze der Intensitäten und der Anomalien durch Hrn. Cauchy's Formeln ausgedrückt werden.
6. Dafs die Reflexion an der Trennungsfläche zweier über einander geschichteten Substanzen denselben Gesetzen folgt.
7. Dafs es in diesem Falle unmöglich ist, den Werth und das Zeichen des Ellipticitätscoëfficienten vorauszusagen.

Ueberdiefs enthält diese Abhandlung eine Tafel über die Reflexionsconstanten einer gewissen Anzahl von Flüssigkeiten.

Digitized by Google

V. *Beiträge zur Analyse einiger Metalllegirungen; von C. Brunner.*

(Aus d. Mittheil. d. naturforsch. Ges. in Bern; von Hrn. Verf. mitgetheilt.)

1. Bestimmung des Kupfers.

Die quantitative Bestimmung dieses Metalles geschieht, wenn kein anderes in der Auflösung enthalten ist, am leichtesten durch Niederschlagen mit Kali und Wägung des gut gewaschenen und geglühten Oxydes. Bei Legirungen, z. B. mit Zink, Eisen und Nickel, tritt häufig der Fall ein, dafs dasselbe von den genannten Metallen durch Fällung mit Schwefelwasserstoff getrennt werden mufs. Der so erhaltene Niederschlag von Schwefelkupfer kann aus bekannten Gründen nicht direct gewogen und daraus die Menge des Kupfers berechnet werden. Man pflegt ihn daher wieder in Säure aufzulösen und nach erstgenannter Methode durch Kali das Kupferoxyd niederzuschlagen.

Viel leichter und vollkommen sicher gelangt man jedoch durch folgendes Verfahren zum Zwecke, welches sich darauf gründet, dafs dieser Niederschlag beim Erhitzen in einem Strome von Wasserstoffgas zu Halbschwefelkupfer ($Cu_2 S$) umgewandelt wird [1]).

Nachdem, vorausgesetzt dafs keine andern durch Schwefelwasserstoff fällbaren Metalle zugegen sind, das Kupfer

1) Schon vor mehreren Jahren beschrieb ich diese Methode das Kupfer zu bestimmen. Es scheint jedoch dieselbe nicht beachtet worden zu seyn (s. Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern 1844, p. 15).

In neuster Zeit hat Pelouze eine Bestimmungsmethode des Kupfers beschrieben, welche darauf hinausgeht, dasselbe durch eine titrirte Auflösung von Schwefelnatrium aus seiner mit Ammoniak im Ueberschufs versetzten Lösung zu fällen und seine Menge aus der Menge der verbrauchten Schwefelnatriumlösung zu bestimmen. Dieses Verfahren, wenn es auch in vielen Fällen richtig seyn mag, ist jedenfalls umständlich, und besonders wenn nachher noch die anderen Metalle bestimmt werden sollen, gewifs mit weit mehr Schwierigkeiten verbunden als das hier zu beschreibende (M. s. *Annales de Chim. et de Phys.* 3e *sér. XVII.* 393 und Rose, ausführl. Handbuch d. analyt. Chemie II. 196).

Digitized by Google

durch einen anhaltenden Strom dieses Gases gefällt worden, läfst man den Niederschlag die Nacht über mit der Flüssigkeit in Berührung. Alsdann wird noch eine kurze Zeit hindurch Gas durchgeleitet und zur Filtration geschritten, welche nunmehr, da sich der Niederschlag etwas compacter abgesetzt hat, leichter als unmittelbar nach der Fällung vor sich geht. Aus bekannten Gründen mufs die Filtration nicht unterbrochen werden und das Auswaschen mit Schwefelwasserstoff haltendem Wasser sogleich darauf folgen. Der Niederschlag wird hierauf am besten in dem Filtrirtrichter selbst [1]) getrocknet, und was sich bequem vom Filter abnehmen läfst auf ein glattes Papier, das Filter dagegen mit dem noch daran befindlichen Schwefelkupfer seiner Länge nach cylindrisch zusammengerollt in eine Glasröhre gebracht, deren Weite etwa $\frac{1}{2}$ Zoll beträgt und von solcher Länge, dafs auf der hintern Seite des Filters etwa 1 Zoll leerer Raum bleibt. Auf der einen (vordern) Seite ist diese Röhre zu einer kurzen Spitze ausgezogen und diese durch einen kleinen Propf von Amianth leicht geschlossen. Mit dem anderen Ende wird die Röhre mit einem Gefäfs in Verbindung gesetzt, aus welchem ein durch Schwefelsäure getrockneter Strom atmosphärischer Luft durch den Apparat geleitet werden kann. Mittelst einer Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge wird nun die das Filter enthaltende Glasröhre vorsichtig erhitzt, während der Luftstrom hindurch geht, und damit unter zweckmäfsigem Fortrücken der Lampe so lange fortgefahren, bis das Filter vollkommen verbrannt ist. Nach dem Erkalten des Apparates fügt man das anfänglich vom Filter genommene Schwefelkupfer dem Inhalte der Röhre hinzu und setzt diese mit einem Apparate in Verbindung, aus welchem ein Strom trocknes Wasserstoffgas entwickelt wird. In diesem Strome wird nun das Schwefelkupfer auf gleiche Weise

1) Nimmt man ihn nämlich, wie es gewöhnlich geschieht, noch feucht mit dem Filter aus dem Trichter heraus und legt ihn auf Löschpapier, so wird leicht ein kleiner Antheil oxydirt und von dem Papier eingesogen.

Digitized by Google

wie früher das Filter in dem Strome atmosphärischer Luft fortschreitend erhitzt, zuletzt bis zum leichten Glühen, so lange als bei der Spitze der Röhre noch Schwefeldampf herausdringt, welches sich am leichtesten durch Anzünden des austretenden Gases erkennen läfst.

Erhitzt man dabei etwas zu stark, so geschieht es zuweilen, dafs das entstehende Halbschwefelkupfer durch anfangendes Schmelzen zusammenbackt und einige Theilchen, durch Einschliefsen, der Wirkung entgehen. Es ist alsdann nöthig, und überhaupt in jedem Falle rathsam, nach Beendigung der Erhitzung und Erkalten der Röhre, den Inhalt derselben in eine glatte Reibschale, am besten einen Achatmörser, herauszuschütten, zu zerreiben und noch einmal auf oben angegebene Weise im Wasserstoffstrome zu erhitzen. Man wird fast immer noch etwas Schwefel austreten sehen. Dieses Herausnehmen und Zerreiben geht übrigens leicht und ohne den geringsten Verlust vor sich, da sich das Schwefelkupfer nicht im mindesten an die Reibschale anhängt.

Das Wägen des so dargestellten Halbschwefelkupfers geschieht am leichtesten dadurch, dafs die Röhre (sammt dem Amianthpfropf) vor der Operation zugleich mit einem Gewichtsstücke, welches das muthmafslich zu erhaltende Schwefelkupfer übertrifft, tarirt und nachher bei der Wägung des Productes das Gewichtstück durch die nöthigen kleinern Gewichte ersetzt und diese von jenem abgezogen werden.

Bei mehreren Versuchen gaben genau gewogene Mengen frisch geglühtes Kupferoxyd in Säure gelöst, mit Schwefelwasserstoff gefällt und auf oben angeführte Art behandelt, genau so viel Halbschwefelkupfer als Oxyd in Anwendung gebracht worden war, welches der Formel Cu_2S entspricht.

2. Bestimmung des Zinnes.

Die fast ausschliefslich angewandte Methode, die Menge dieses Metalles in Legirungen zu bestimmen, besteht be-

Digitized by Google

kanntlich darin, dafs man dieselben hinlänglich zerkleinert mit Salpetersäure behandelt, so lange diese etwas auszieht, das zurückbleibende Zinnoxyd (sogenannte Metazinnsäure) auswäscht und glüht und aus der erhaltenen Quantität das Metall berechnet [1]).

Mehrere neuere Schriftsteller machen mit Recht auf den Umstand aufmerksam, dafs bei diesem Verfahren leicht eine kleine Menge jener ausziehbaren Metalle durch Einschliefsung in dem zurückbleibenden Zinnoxyd der Wirkung der Säure entgehen könne. Es ist dieses um so eher der Fall, wenn die angewandten Proben nicht hinlänglich zerkleinert waren. Dieses Zerkleinern ist nun bei manchen Legirungen etwas schwierig. Auch können leicht durch die dabei angewandten Instrumente fremde Dinge, wie Eisen, hineingebracht werden.

Sehr leicht gelangt man durch folgendes Verfahren zum Zwecke.

Man löst die Probe in gröbern Stückchen, auch wohl in *einem* Stücke, in verdünnter Salpetersalzsäure auf. Zu diesem Ende wird dieselbe genau gewogen, z. B. 1 Gramm in ein etwas grofses (etwa 12 Unzen Wasser fassendes) Medicinglas gebracht und mit einer Mischung aus 1 Theil Salpetersäure, 4 Theilen Salzsäure und 5 Theilen Wasser übergossen, gelinde erwärmt, wobei man diese Flüssigkeit nur ungefähr in der zur Auflösung nöthigen Menge nach und nach zusetzt. 1 Gramm Metall erfordert zur Auflösung ungefähr 20 Gramm jener Säuremischung. Ist die Auflösung erfolgt, so wird das Glas ungefähr zur Hälfte mit Wasser gefüllt und die so verdünnte Flüssigkeit mäfsig erwärmt. Alsdann wirft man so lange Krystalle von kohlensaurem Natron hinein, bis ein ordentlicher Niederschlag entstanden, und bringt die Flüssigkeit ins Kochen. Enthält die Legirung Kupfer, so hat der Niederschlag anfangs eine blaugrüne Farbe, welche, wenn eine hinlängliche Menge

1) Es darf kaum bemerkt werden, dafs es sich hier nicht um die Analysen von solchen Legirungen handelt, welche in Salpetersäure unlösliche Metalle, wie Gold und Platin, enthalten.

Digitized by Google

kohlensauren Natrons zugeführt worden, beim Sieden ins Braune übergeht. Sollte dieses nicht erfolgen, so wirft man noch kleine Krystalle jenes Salzes hinein, bis die braune oder beinahe schwarze Färbung des Niederschlages eintritt. Dieses Hinzufügen mufs, der ziemlich starken Entwicklung von Kohlensäure wegen, mit einiger Vorsicht geschehen. Aus diesem Grunde ist auch anfänglich bei der Auflösung ein ohnehin unnützer Ueberschufs von Säure zu vermeiden.

Nachem die Flüssigkeit mit dem Niederschlage 10 bis 15 Minuten gekocht worden, läfst man sie etwas abkühlen und setzt tropfenweise Salpetersäure hinzu, bis eine deutliche saure Reaction eingetreten ist und der zurückbleibende Antheil des Niederschlages, nach mehrstündiger Digestion in gelinder Wärme, eine rein weifse Farbe angenommen hat. Er wird nun auf das Filtrum gebracht, ausgewaschen, getrocknet, geglüht und als Zinnoxyd bestimmt.

Das auf diese Art erhaltene Zinnoxyd wird man stets vollkommen frei von Kupfer finden. Dagegen enthält es leicht eine Spur von Eisen, welches Metall, wie man weifs, vielen Niederschlägen sehr hartnäckig anhängt. Die Menge desselben ist jedenfalls höchst unbedeutend und für alle technischen Untersuchungen gänzlich zu vernachlässigen. Wollte man sie jedoch bestimmen, so müfste man das Oxyd, am besten vor dem Glühen, durch Kochen mit Salzsäure auflösen, das Zinn durch Schwefelwasserstoff fällen und hierauf das Eisen, nachdem es wieder durch ein wenig rauchende Salpetersäure oxydirt worden, auf die bekannte Art durch ätzendes Ammoniak niederschlagen.

Dieser letztere Umstand findet übrigens auch bei der gewöhnlichen Bestimmungsart durch directe Behandlung einer solchen Legirung mit Salpetersäure statt. Das zurückbleibende Zinnoxyd wird man stets eisenhaltig finden, welches bisher übersehen worden zu seyn scheint.

Hat man einen aus einer Metalllegirung verfertigten Gegenstand von bedeutender Gröfse zu analysiren, bei welchem aus bekannten Gründen das Mischungsverhältnifs nicht

Digitized by Google

an allen Stellen, genau das nämliche seyn könnte, und wünscht man ein Mittel des ganzen Stückes zu erhalten, so werden zwei oder drei Proben an geeigneten Stellen ausgewählt, diese in gleicher Gröfse, z. B. jede zu 0,5 Gramm auf die eben beschriebene Art in Salpetersalzsäure gelöst und nun die Analyse mit der Auflösung, die alle 2 bis 3 Proben enthält, ausgeführt. Ein solcher Fall kann bei manchen technischen Arbeiten, z. B. beim Umgiefsen von Geschützen, Glocken, Statuen vorkommen.

3. Bestimmung des Nickels.

Unter der Benennung *Neusilber* oder *Argentan* ist in neuerer Zeit eine Legirung von Kupfer, Zink und Nickel in Anwendung gekommen, die eine nicht geringe technische Wichtigkeit erlangt hat.

Aus den einfachen Lösungen des Nickels ist es sehr leicht dieses Metall durch ätzendes Kali niederzuschlagen und genau zu bestimmen, da der gewaschene und geglühte Niederschlag als Nickeloxyd in Rechnung gebracht werden kann. Ebenso ist die Trennung dieses Metalles von allen denjenigen, die durch Schwefelwasserstoff gefällt werden können, mit keinen Schwierigkeiten verbunden. Sind diese auf solche Art aus der Auflösung abgeschieden, so kann dieselbe unter den gewöhnlich vorkommenden Metallen nur Zink, Nickel und Eisen enthalten. Das letztere wird niedergeschlagen, indem man nach Entfernung des Schwefelwasserstoffes durch Erhitzen und vollständige Oxydation des Eisens durch einige Tropfen rauchender Salpetersäure, einen Ueberschufs von ätzendem Ammoniak zusetzt, wodurch das Eisenoxyd permanent gefällt wird, die beiden anderen Metalle aber in der ammoniakalischen Auflösung bleiben. Nun tritt aber die Nothwendigkeit ein, dieselben von einander zu trennen. Es ist bekannt mit welchen Schwierigkeiten die Trennung verbunden ist. Alle bisher angegebenen Methoden sind theils ungenügend, theils schwer ausführbar und wohl immer etwas unsicher. Folgendes Verfahren giebt ein der Wahrheit sehr annäherndes Resultat.

Digitized by Google

Dasselbe gründet sich auf den Umstand, dafs das auf trocknem Wege bereitete Schwefelnickel von verdünnter Salzsäure, selbst kochend, beinahe gar nicht angegriffen, das eben so bereitete Schwefelzink dagegen leicht aufgelöst wird. Die Methode ist folgende.

Nachdem aus der Flüssigkeit die übrigen Metalle entfernt sind, werden Zink und Nickel durch kohlensaures Natron kochend gefällt, der Niederschlag annähernd gewaschen [1]), getrocknet und mit Verbrennung des Filters im Platintiegel leicht geglüht. Die auf solche Art erhaltenen Oxyde mengt man in einer glatten Reibschale mit ihrem $1\frac{1}{2}$fachen Gewichte Schwefel und $\frac{3}{4}$ ihres Gewichtes kohlensauren Natrons, bringt das Gemenge in eine kleine Glasretorte, spült die Reibschale mit noch ein wenig Schwefel nach und bringt auch diesen in die Retorte. Dieselbe wird nun in einem Kohlenfeuer oder bei kleinern Mengen über der Weingeistlampe so weit erhitzt, als es zur vollkommenen Bildung der Schwefelmetalle nöthig ist. Die Erhitzung kann so weit gesteigert werden, als das Glas ohne sich merklich zu senken, aushält. Man läfst die Hitze so lange einwirken, bis der überschüssige Schwefel gröfstentheils sich in den Retortenhals sublimirt hat und die Mischung keine weitere Veränderung zeigt. Eine halbe Stunde wird hierzu hinreichen.

Man übergiefst nun diesen Rückstand mit einer Mischung aus 1 Theil gewöhnlicher Salzsäure mit ungefähr 10 Theilen Wasser, wodurch sie sich besonders bei einiger Erwärmung leicht aufweicht, spült sie durch Behandlung mit mehreren Portionen dieser verdünnten Säure in ein Kochglas und bringt sie zum Kochen. Nach ungefähr einer halben Stunde wird die Flüssigkeit von dem Niederschlage sorgfältig abgegossen und auf ein Filter gegeben, auf welchem die geringe Menge des etwa aufgeschlämmten Schwefelmetalls zurückbleibt.

Die von der Säure nicht gelöste Substanz wird nun noch einmal mit einer neuen Menge verdünnter Salzsäure

1) Ein vollkommenes Auswaschen ist unnöthig.

Digitized by Google

eben so behandelt und diese zweite Lösung durch das mittlerweile etwas ausgewaschene Filter, welches bei der ersten Abkochung gedient hatte, gegossen, jedoch in eine besondere Flasche filtrirt. Nun bringt man diese zweite Abkochung zum Sieden und wirft vorsichtig so lange Krystalle von kohlensaurem Natron hinein als Aufbrausen erfolgt. Entsteht hierbei ein merklicher Niederschlag von Zinkoxyd, so mufs noch eine dritte Abkochung auf die gleiche Art vorgenommen und auch diese, nachdem sie filtrirt worden, mit kohlensaurem Natron behandelt werden. Sie wird in der Regel nur eine nicht wägbare Menge von Zinkoxyd liefern. Zuweilen ist dieses schon bei der zweiten der Fall [1]).

Man giebt nun den Rückstand in der Kochflasche auf das Filter, wäscht ihn vollständig aus, vereinigt sämmtliche salzsaure Lösungen mit der Auswaschflüssigkeit und scheidet das Zinkoxyd durch kohlensaures Natron kochend aus. Seine quantitative Bestimmung geschieht auf die bekannte Art.

Um nun das Nickel zu bekommen, wird der von der Salzsäure nicht gelöste Rückstand mit dem Filter in ein Kochglas gegeben und darin mit Salpetersäure, die mit ihrem gleichen Volumen Wasser verdünnt ist, übergossen und bei gelinder Wärme digerirt. Er löst sich auf mit Hinterlassung einer geringen Menge von Schwefel. Sieht man, dafs nichts weiter übrig ist als dieser, so wird die Flüssigkeit mit Wasser verdünnt, filtrirt und das Nickel durch ätzendes Kali oder kohlensaures Natron kochend gefällt. Rose giebt als Fällungsmittel des Nickels dem ätzenden Kali vor dem kohlensauren Natron den Vorzug. Nach meiner Erfahrung geschieht durch letzteres die Scheidung vollständig, wenn die Auflösung gehörig verdünnt ist und mit einem Ueberschufs des Fällungsmittels etwa ½ Stunde lang gekocht wird. In der filtrirten Flüssigkeit giebt hydrothionsaures Ammoniak keinen Nickelgehalt mehr zu erkennen.

1) Die Menge der anzuwendenden Säure richtet sich natürlich nach der Menge der verschiedenen Oxyde. Auf 1 Theil dieser letztern nehme man für jede Abkochung 6 Theile Salzsäure und 60 Theile Wasser.

Digitized by Google

Es ist bei dieser Scheidungsmethode zu bemerken, dafs wenn man das Eisen nicht schon früher abgeschieden hätte, dasselbe mit dem Zinkoxyd erhalten würde und dann von diesem auf die bekannte Art getrennt werden könnte. Dieses Verfahren ist vielleicht der vorangehenden Abscheidung dieses Metalles durch Ammoniak im Ueberschufs vorzuziehen. Ich hatte anfangs eine gröfsere Menge von schwefel- und kohlensaurem Natron angewandt, die Erfahrung hat mich aber auf das oben Angegebene geleitet. Bei einer gröfseren Menge dieses Zusatzes schmilzt nämlich die Masse zu einer Schwefelleber, welche sich so fest an das Glas anklebt, dafs die Retorte beim Erkalten fast immer reifst, welches beim nachherigen Herausspülen des Rückstandes Schwierigkeiten veranlafst. Das kohlensaure Natron ganz wegzulassen, ist nicht anzurathen. Die Erfahrung hat gelehrt, dafs in solchem Falle leicht ein Antheil der Metalloxyde der Schwefelung entgeht und alsdann in dem salzsauren Auszuge Nickel gefunden wird. Endlich ist noch zu bemerken, dafs diese Trennungsmethode nicht gelingt mit Schwefelmetallen, die auf nassem Wege bereitet sind. Aus solchen zieht die Salzsäure nebst dem Zink eine gewisse Menge Nickels aus.

Die Scheidungsmethode giebt, wie natürlich, zugleich das Mittel an die Hand, sich ein reines, zinkfreies Nickel zu verschaffen. Denjenigen, welche sie zu nachheriger Anordnung zu prüfen veranlafst seyn möchten, empfehle ich mit dieser Darstellung anzufangen. Es dürfte sich ergeben, dafs die meisten in den chemischen Sammlungen vorräthigen Nickelpräparate Zink enthalten, da dieses Metall gewöhnlich in dem käuflichen Nickel enthalten ist.

Es ist nun ein Leichtes, sich aus dem oben Angeführten für jeden in der gewöhnlichen Praxis vorkommenden Fall den Plan zu einer Analyse zu entwerfen. Nehmen wir den complicirtesten Fall (der nicht leicht vorkommen dürfte), so ist der Gang bei einer Legirung aus Zinn, Blei, Silber, Kupfer, Nickel und Eisen folgender.

Digitized by Google

1. Auflösen in Salpetersalzsäure und Bestimmung des Silbers aus dem zurückbleibenden Chlorsilber.
2. Niederschlagen mit kohlensaurem Natron kochend.
3. Behandlung des Niederschlages in der Flüssigkeit selbst mit Salpetersäure und Bestimmung des Zinnes.
4. Abscheidung des Bleies durch Abdampfen der mit Schwefelsäure versetzten Lösung zur Trockne und Wiederauflösen in Wasser, Bestimmung des zurückbleibenden schwefelsauren Bleioxydes.
5. Abscheiden des Kupfers mit Schwefelwasserstoff und Bestimmung als $Cu_2 S$.
6. Austreiben des Schwefelwasserstoffs durch Erhitzen.
7. Niederschlagen des Nickels, Zinks und Eisens mit kohlensaurem Natron, Trocknen und Glühen des Niederschlages.
8. Glühen dieses Niederschlages mit Schwefel und kohlensaurem Natron.
9. Ausziehen mit verdünnter Salzsäure.
10. Kochen dieses Auszuges mit etwas rauchender Salpetersäure, um das Eisen zu oxydiren, oder Behandlung mit ein wenig Chlorgas.
11. Abscheidung des Eisenoxydes durch ätzendes Ammoniak im Ueberschufs.
12. Abscheidung des Zinkoxydes aus der Lösung No. 11 mit kohlensaurem Natron kochend.
13. Auflösen des Schwefelnickels (Rückstand von No. 9) in Salpetersalzsäure und Fällen des Nickeloxydes durch ätzendes Kali oder kohlensaures Natron kochend.

Modificationen bei Abwesenheit einzelner Metalle sind folgende:

1. Ist kein Silber zugegen, so fällt dessen Bestimmung in No. 1 weg.
2. Bei Abwesenheit von Blei fällt No. 4 weg.
3. Ist die Bestimmung des Eisens (der geringen Menge wegen) unnöthig, so fällt No. 10 und 11 weg.
4. Bei Abwesenheit von Nickel fällt No. 7, 8, 9, 13 weg.
5. Bei Abwesenheit von Zink fällt No. 12 weg.

Digitized by Google

6. Bei Abwesenheit von Zinn fällt No. 2 und 3 weg.
7. Bei Abwesenheit von Zinn und Silber kann die ursprüngliche Auflösung in Salpetersäure geschehen.
8. Bei Abwesenheit von Zinn kann das Silber aus der salpetersauren Lösung auf die bekannte Art durch Salzsäure gefällt werden.

Anhang.

Es mag nicht überflüssig seyn, hier eine Vorrichtung zu beschreiben, welcher ich mich seit mehreren Jahren bei allen solchen Versuchen mit fortschreitender Erhitzung in Röhren bediene und die sich stets bewährt hat.

Ist der zu erhitzende Körper zwischen zwei Asbestpfropfen, oder wo es angeht ohne solche, so in eine horizontal liegende Röhre gebracht, dafs ein kleiner Raum über demselben für das durchstreichende Gas leer bleibt, so wird über der Röhre ein aus schwarzem Eisenblech gewölbartig geformter Schirm von etwa 3 Zoll Länge in der Entfernung von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll angebracht, welcher die doppelte Bestimmung hat, durch Reverberation den oberen Theil der Röhre zu erhitzen und zugleich den der Flamme zunächst liegenden aber noch nicht direct erhitzten Theil der Röhre so weit zu erwärmen, dafs daselbst kein Wasser sich ansetzt, so dafs, wenn bei dem Fortrücken der Lampe diese Stelle stärker erhitzt wird, sie bereits vorgewärmt ist. Mit dem Fortrücken dieser letztern mufs wie natürlich auch jener Schirm vorgerückt werden, so dafs er immer die gleiche Stellung zur Lampe behält. Man könnte ihn deshalb auch mit derselben direct verbinden, doch finde ich es bequemer ihn auf einen eigenen Fufs zu befestigen, da man öfter im Falle ist ihn momentan hinweg zu nehmen, um die Arbeit zu beobachten. Es gehört eine geringe Uebung dazu, sich dieser Vorrichtung zu bedienen. Niemals wird eine Röhre reifsen. Dieser Apparat ersetzt auf eine zweckmäfsige Art in allen den Fällen, wo man es nicht mit einem flüssigen Körper zu thun hat, die sogenannte Kugelröhre und ist weit bequemer zu behandeln.

Digitized by Google

Die Lampe, welcher ich mich bediene, ist der von Rammelsberg beschriebenen ähnlich, doch dadurch verschieden, dafs sie nicht unmittelbar an dem Ständer festgeschraubt ist, sondern ganz frei auf einem hölzernen Cylinder ruht, welcher durch eine Schraube in der erforderlichen Höhe befestigt wird (Taf. III. Fig. 7). Durch diese Einrichtung wird nämlich der Vortheil erlangt, sie durch eine leichte Drehung schnell zu bewegen, welches in manchen Fällen sehr nützlich ist. Unmittelbar unter der Flamme ist die den Docht enthaltende Röhre mit einer Blechkapsel versehen, welche mit Wasser gefüllt wird und die Bestimmung hat, bei lange andauerndem Gebrauche durch Abkühlung das Sieden des Weingeistes zu verhindern. Es ist kaum nöthig zu bemerken, dafs das Weingeistgefäfs eine gewöhnliche Flasche von ungefähr 6 bis 7 Unzen Inhalt ist, deren Boden abgeschnitten und durch eine flache Kapsel von Messingblech, aus welcher die Röhre das Brennmaterial zur Lampe führt, ersetzt ist. Eine Mariotte'sche Röhre, um den Zufluſs zu reguliren, anzubringen, halte ich für überflüssig. Das Einkitten der Flasche in dem Blechboden geschieht durch einen Kitt aus gleichen Theilen Mennige und Bleiweifs mit Leinölfirnifs angeknetet. Ist dieser Kitt während 14 Tagen getrocknet, so wird er vom Weingeist nicht aufgeweicht.

VI. *Ueber die Anwendung der Sirene und des akustischen Flugrädchens zur Bestimmung des Spannungsgrades der Wasserdämpfe und der comprimirten Luft; von Dr. Christian Doppler,*

Director des k. k. physikalischen Institutes.

(Aus den Sitzungsberichten der math.-naturw. Classe d. k. Akad. d. Wiss. vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Vor etwas mehr als einem Jahre hatte ich das wissenschaftliche Publicum auf ein Mittel aufmerksam gemacht,

Digitized by Google

den Spannungsgrad des Wasserdampfes und der comprimirten Luft durch das Gehör zu bestimmen, und ich ermangelte damals nicht, auf möglichst eindringliche Weise auf die Wichtigkeit einer wissenschaftlichen Angelegenheit aufmerksam zu machen, die mit der Sicherheit des Lebens von Tausenden von Menschen in einem so unmittelbaren und leicht ersichtlichem Zusammenhange steht. Ich habe einen darauf bezüglichen Vortrag in der naturwissenschaftlichen Classensitzung der kais. Akademie der Wissenschaften vom 11. October 1849 gehalten [1]), und war auch sonst mehrseitig bemüht, dieser Idee möglichste Verbreitung und Eingang zu verschaffen. Ich verhehle es nicht, dafs ich damals die sichere Erwartung hegte, man werde diesem, wie es mir schien, nicht unfruchtbaren Gedanken einige Aufmerksamkeit schenken, ihn einer experimentellen Prüfung würdigen, und ihn so für das practische Leben nutzbringend zu machen suchen. Allein hierin hatte ich mich getäuscht! — Mittlerweilen sah ich mich durch meine veränderte amtliche Stellung in die Lage versetzt, und zwar im physikalischen Institute, dem ich vorstehe, die gewünschten Versuche, wenigstens bis zu jenem Spannungsgrade der Wasserdämpfe, welcher in der Regel bisher bei unseren Locomotivfahrten höchstens in Anwendung kommt, selber durchführen zu können, und die Resultate dieser Versuche sind es nun eben, welche ich nunmehr einem wissenschaftlichen Publicum, gleichsam als eine nothwendige Ergänzung zu den früher angestellten Betrachtungen, mitzutheilen beabsichtigte.

Der erste vorläufige Versuch wurde mittelst eines Digestors und der eigentlichen Sirene des Cagniard de la Tour mit Zählapparat unternommen, und er bezog sich auf Wasserdämpfe von nur sehr geringer Spannung.

Schon der Erfolg dieses ersten Versuches war ein sehr befriedigender. Der Ton blieb bei sich gleichbleibender Spannung vollkommen gleich und änderte sich, wie ich es

1) Auch abgedruckt im October-Hefte der Sitzungsberichte der kaiserl Akademie der Wissenschaften für 1849.

Digitized by Google

vorausgesagt hatte, bei allmälig sich steigernder oder nachlassender Tension der Dämpfe auf eine mit der Theorie genau übereinstimmende Weise. Entsprechend der Höhe und Tiefe des Tons war natürlich auch die Indication des leicht zu handhabenden Zählapparates.

Ein ganz unbedeutender Uebelstand, welcher sich jedoch durch eine etwas abgeänderte Construction oder vielmehr durch Aenderungen einzelner Dimensionen hätte leicht beheben lassen, bestand darin, dafs, veranlafst durch die theilweise Condensation des ausströmenden Wasserdampfes, sich alsobald zwischen der rotirenden Scheibe und der Kammer eine Wasserschicht bildete, die zwar einen luftdichten Verschlufs gegen Aufsen bedingte, die Peripherie der Scheibe aber in Wasser waten machte. Diefs, in Verbindung vielleicht mit der Trägheit der für diese Versuche offenbar zu massiven Scheibe und der Reibung im Zählapparate, bewirkte wenigstens bei diesem, mit Wasserdämpfen von so geringer Spannung angestellten Versuche, dafs die Sirene erst in Thätigkeit trat, nachdem die Spannung der Dämpfe bereits eine gewisse, wenn auch nur sehr geringe Höhe erreicht hatte, wobei ihr Ton sodann freilich in Zeit von wenigen Sekunden zu der jener Spannung entsprechenden Höhe anschwoll, auf der er auch, so lange sich dieselbe nicht merklich änderte, constant verblieb. Dieser wenn ich ihn anders so nennen soll, kleine Uebelstand, für welchen ich keine augenblickliche Abhülfe wufste, veranlafste mich, der Sirene einen anderen mir ebenfalls zur Hand liegenden kleinen Apparat, dessen Construction wesentlich auf denselben Principien beruht und zu denselben akustischen Zwecken bereits vielfach benutzt wurde, nämlich das sogenannte akustische Flugrädchen zu substituiren, und ich beschlofs zugleich dessen Wirksamkeit auch bei Dämpfen von mittlerem und selbst hohem Drucke zu versuchen. Ich fand mich zu dieser Substituirung um so mehr aufgemuntert, als letztgenannter Apparat, falls er entspräche, noch ungleich einfacher und wohlfeiler herstellbar wäre, als die Sirene, selbst in ihrer einfachsten Gestalt.

Digitized by Google

Nebenher sey es gesagt, dafs ein solches Flugrädchen, einzeln bestellt, ohne Absperrungshahn, kaum viel höher als auf 2 fl. C. M. zu stehen kommen dürfte, in gröfserer Anzahl dagegen noch um ein Bedeutendes billiger.

Es wurde nunmehr ein papinianischer Topf, an dem bereits ein Sicherheitsventil angebracht war, noch mit einem Luftmanometer versehen und in den Deckel ein Flugrädchen mit einem Absperrungshahne versehen eingesetzt. Ein Zählapparat, wiewohl leicht anbringbar, war damit nicht verbunden. Nachdem man denselben etwas über die Hälfte mit Wasser gefüllt hatte, wurde er in einen Windofen eingegesetzt und erhitzt.

Das Resultat der wiederholt damit angestellten Versuche war nun folgendes.

Beim ersten Versuche wurden alle Hähne geöffnet und selbst das Sicherheitsventil gelüftet, so dafs die sich entwickelnden Dämpfe durch die genannten Oeffnungen ziemlich ungehindert in die Luft treten konnten, weshalb auch die zurückgebliebenen Dämpfe bei nicht forcirter Feuerung, nur einen geringen Grad von Spannung zeigten. Als das Wasser im Digestor zu sieden begann, fing auch das Flugrädchen alsogleich sich zu bewegen und in Folge dessen zu tönen an. Der Ton war sehr tief, jedenfalls um eine Octave und darüber tiefer als das *A* einer gewöhnlichen Stimmgabel und blieb bei ersichtlich sich gleichbleibender Feuerung vollkommen constant. Nunmehr wurde das Sicherheitsventil verschlossen und mäfsig beschwert, dem Dampf dadurch also einer der Abzugswege verschlossen. Der Ton stieg nun alsogleich bei sich gleichbleibender Feuerung um mehr als eine ganze Octave. Wurde die Verdampfung durch Anfachen der glühenden Kohlen vermehrt, so liefs sich der Ton um mehr als zwei Octaven steigern, und wenn man wollte, auf dieser Höhe erhalten. Der Versuch wurde nun in der Weise abgeändert, dafs der Zuführungshahn zum Flugrädchen geschlossen und jedesmal erst dann geöffnet wurde, wenn die Spannkraft der Dämpfe bereits eine gewisse durch das Sicherheitsventil und das Manometer

Digitized by Google

angezeigte Gröfse erreicht hatte. In Bezug auf letzteres mufs erwähnt werden (es war nämlich wie gesagt ein Luft-Manometer), dafs es bei den höhern Spannungsgraden sehr ungenaue Anzeigen gab, weil der Einflufs der Wärme auf das abgesperrte Luftquantum nicht hintangehalten werden konnte. In dieser Weise wurden nun die Versuche zuerst stufenmäfsig von $\frac{1}{4}$ bis auf 1 Atmosphäre und sodann sprungweise bei $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $5\frac{1}{2}$ und $6\frac{1}{2}$ Atmosphäre relativen Ueberdrucke oder bei einer absoluten Dampf-Spannung von $1\frac{1}{4}$ bis beziehungsweise zu $7\frac{1}{2}$ Atmosphären durchgeführt. Es ist bekannt, dafs bei uns in Oesterreich die Locomotive der Personentrains bisher nur mit höchstens $6\frac{2}{3}$ und jene der Lasttrains mit beiläufig 5 Atmosphären relativen Ueberdruck arbeiten. Nur für die nahe bevorstehenden Fahrten über den Semmering mit Locomotiven gröfserer Leistungsfähigkeit ist es, wie man vernimmt, beantragt, sie mit 100 Pfd. auf den Quadratzoll, d. i. mit beiläufig $7\frac{1}{3}$ Atmosphären relativen Ueberdruck wirken zu lassen.

Das Resultat aller dieser Versuche war eine stufenweise Steigerung des Tons von dem tiefsten eben noch gut hörbaren bis sicher zur siebenten Octave, wo nicht darüber. Da der in dem kleinen Raume eines Digestors enthaltene hochgespannte Dampf schon im nächsten Momente nach Oeffnung des Hahnes seine anfängliche Spannung verlor: so mufste natürlich auch der erzeugte Ton schnell von seiner Höhe herabsinken, welches begreiflich nicht der Fall gewesen wäre, wenn das akustische Flugrädchen statt von einem Digestor von einem Dampfkessel gespeist worden wäre. Diefs war auch der Grund, weshalb ich weder mittelst eines Monochords noch mit Hülfe einer Sirene und deren Zählapparat zu einer genauen Bestimmung der Tonhöhe gelangen konnte, und mich gezwungen sah, mich mit einer beiläufigen Abschätzung zu begnügen. Dieser Umstand kann indefs den Werth dieser Versuche nicht wesentlich beeinträchtigen, da es sich ja hier zunächst nur um die Ermittelung des Genauigkeits- und Empfindlichkeits-Grades, um die Ausreichbarkeit des erzeugten Tons für alle

Digitized by Google

alle praktischen Bedürfnisse und endlich darum handelte, ob diese Vorrichtung solche Modificationen zulasse, wie dieſs eben die verschiedenen Verhältnisse zuweilen erheischen.

Ein anderer Uebelstand, der eben auch nur wieder bei Versuchen mit dem Digestor, nicht aber beim Dampfkessel vorkommt, bestand darin, dafs beim heftigen Aufwallen des Wassers im Topfe, wegen der Nähe des Niveaus am Deckel, häufig Wasser in die Zuleitungsröhre des Flugrädchens geschleudert wurde, welches sodann von dem ausströmenden Dampfe mit fortgerissen und ausgeworfen wurde. Diesem Uebelstande wurde jedoch gründlich dadurch abgeholfen, dafs man unmittelbar unter der Oeffnung derselben eine nach oben convexe Scheibe oder Schale mittelst einiger Drähte befestigte, deren Durchmesser natürlich namhaft gröſser seyn mufs, als jener des engen Zuleitungsrohres.

Endlich mufs noch erwähnt werden, dafs am Boden des Cagniard'schen Flugrädchens ein hornförmiges Röhrchen angebracht wurde, um die wenigen Tropfen Wasser, welche sich nach längerem Gebrauche durch Condensation der Dämpfe ansammeln, abzuleiten.

Was bei diesen Versuchen im hohen Grade auffiel, war die erstaunliche Empfindlichkeit und Schnelligkeit der Indicationen. Man mufs es wirklich gesehen und erfahren haben, um es auch nur glaublich zu finden, dafs ein einziger kräftiger Schlag mit dem Facher oder Focher, wodurch die Kohlen zu einem mehreren Erglühen gebracht werden, die Tonlage schon um einen halben, durch zwei oder drei aber um einen ganzen Ton erhöht wird. Merkwürdig ist dabei die aufserordentliche ja wahrhaft momentane Schnelligkeit, mit der diese Tonerhöhung vor sich geht. Es erfolgt diese nämlich in demselben Augenblicke, in welchen man die Kohlen durch den Focherschlag neu erglühen sieht. Diese merkwürdige Thatsache, deren Einfluſs bei der Dampferzeugung man bisher kaum ahnte, drängt jeden zu der Annahme, dafs der bei weitem gröfste Theil der mitgetheilten Wärme, wenigstens bei höherer Temperatur, nicht,

Digitized by Google

wie man bisher annahm, durch gewöhnliche Leitung, sondern nach den Gesetzen der Diathermotik durch eigentliche Strahlung in unmefsbar kurzer Zeit, durch das Blech des Kessels hindurch dem Wasser zugeführt und augenblicklich zur Dampfbildung verwendet wird. Sollte diese auffallende Wahrnehmung nicht einen Schlüssel zur Erklärung jener mysteriösen Kesselexplosionen bieten, bei denen nach eidlichen Aussagen noch kurze Zeit, ja unmittelbar vor der schrecklichen Catastrophe, Wasserstandszeiger, Sicherheitsventil und Manometers eine solche Gefahr auch nicht im Entferntesten ahnen liefsen.

Das Flugrädchen ist eine so einfache Vorrichtung, wie kaum irgend eine andere, welche sich überdiefs allen Bedürfnissen und Verhältnissen ungemein leicht anpassen läfst. Von ihrer absoluten Gröfse überhaupt und von der Breite seiner Flügel insbesondere hängt die Intensität seines Tons ab, die sich von dem durchdringensten schrillendsten Pfiff, den man kaum mit einer Locomotivpfeife zu übertreffen vermag, bis zu einem ganz leisen Schwirren ermäfsigen läfst. Die Höhe der Tonlage hängt ferner nicht blofs von der Geschwindigkeit des ausströmenden Dampfes, sondern noch überdiefs von der Länge der Flügelarme, von der Anzahl derselben und von dem Verhältnisse des in die Zuleitungsröhre einströmenden Dampfquantums zu jenem des ausströmenden oder vielmehr von jenem des Querschnittes der Zuführungsröhre zu jenem des Vorhofes ab, und kann durch Verminderung des Dampfzuflufses stets so regulirt werden, wie man es den Verhältnissen anpassend findet. Kennt man die Dampfspannung, so läfst sich nöthigenfalls die Tonhöhe, und wenn hinwieder letztere bekannt ist, daraus die Spannung berechnen.

Bezeichnet nämlich:

r, den effectiven oder wirksamen Radius des Flügels,
m, die Anzahl der Flügel,
b, den Barometerstand,
h, die Spannung des Wasserdampfes,
D, die Dichte des Wasserdampfes, jene des Wassers $= 1$ gesetzt,

Digitized by Google

N, die Anzahl der Pulsationen des erzeugten Tons in der Sekunde,

a, den Querschnitt der Zuführungsröhre des Dampfes, und

A, den Querschnitt des breiten Theiles der Ausmündung derselben, so ist:

$$\text{I.} \quad N = \frac{4{,}62121 \cdot m}{r} \sqrt{\frac{ah - bA}{AD}}; \text{ und}$$

$$\text{II.} \quad h = \frac{A}{a}\left(b + 0{,}0468258\, D r^2 N^2\right);$$

Formeln, deren specielle Ableitung hier überflüssig erscheint.

Was dem Flugrädchen, wenigstens in meinen Augen, als Sicherheitsapparat einen so entschieden hohen Werth giebt, liegt hauptsächlich in dem Umstande, dafs seine Anzeigen nicht, wie bei allen übrigen, durch Gesichtswahrnehmungen, sondern durch das Gehör bedingt sind. Gesehen aber wird immer nur das, worauf unsere Blicke eben gerichtet sind, und alle Sicherheitsvorrichtungen, welche diefs zur Bedingung machen, sind daher, für die Bediensteten sowohl wie für das mitfahrende Publicum, nur in so ferne da, als sie von ersteren unablässig beobachtet werden. Anders ist diefs beim Flugrädchen und der Sirene. Dem Gefahr verkündenden Ton, oder dessen unregelmäfsigen, plötzlichen und gleichsam stofsweisen Aenderungen kann niemand vom Aufsichtspersonale sein Ohr verschliefsen, womit immer auch die Locomotivführer und die übrigen auf dem Tender befindlichen Personen eben beschäftigt seyn mögen!

Uebrigens mufs es natürlich den Locomotiv-Ingenieurs und zum Theil auch der Erfahrung anheim gestellt bleiben, die speciellen Modalitäten festzusetzen, unter denen der mehrgenannte Apparat unter die übrigen Sicherheitsvorrichtungen einzutreten haben wird. Von meinem Standpunkte aus halte ich eine dreifache Benutzung für ausführbar, und zwar:

1. In so kleine Dimensionen ausgeführt, dafs gegen dessen beständiges und ununterbrochenes Spielen kein ge-

Digitized by Google

gründetes Bedenken erhoben werden kann. Diefs wird wahrscheinlich der Fall seyn, wenn bei einer drei- oder viermal kleineren Flügelbreite der Durchmesser der Zuflufsröhre für den Dampf nur etwa eine halbe Linie und darunter beträgt. Unter dieser Voraussetzung kann der ungemein geringe Dampfverlust im Hinblick auf die Wichtigkeit der Sache gar nicht in Betracht kommen — und gleichwohl dürfte selbst ein so kleiner Apparat mehr als zureichen, einen dem Zirpen einer Grille ähnlichen Ton zu erzeugen, der, ohne die Wahrnehmung der gewöhnlichen Signale im Geringsten zu beeinträchtigen, stark genug seyn wird, von allen auf dem Tender befindlichen Personen deutlich vernommen zu werden. Ich gestehe, dafs ich diese Art der Anwendung des Flugrädchens für die am meisten Sicherheit gewährende und verläfslichste halte.

2. In gröfseren Dimensionen ausgeführt und mit einem Sicherheitsventil dergestalt verbunden, dafs dasselbe von selbst aber erst dann zu spielen beginnt, wann der Dampf eine gefahrdrohende Spannung zu erreichen beginnt; — und

3. gleichfalls in gröfseren Dimensionen, vielleicht unter Einem zugleich als Dampfpfeipfe benutzbar, mit einem Sperrhahn versehen, zum beliebigen zeitweisen Gebrauch des Locomotivführers.

In Angelegenheiten, die, wie die gegenwärtige, das menschliche Wohl so nahe berühren, kann man sich schon den Vorwurf, bereits Gesagtes nochmals wiederholt zu haben, gefallen lassen.

Die im In- und Auslande zeitweise sich noch immerfort wiederholenden Fälle furchtbarer Explosionen von Dampfkesseln sprechen nämlich mit trauriger Beredtsamkeit der Ansicht das Wort, dafs diese Angelegenheit wohl lange noch nicht zu einem definitiven Abschlufs gebracht worden sey! — Es ist vielmehr ziemlich allgemein eine stehende Ansicht geworden, dafs unter gewissen bisher noch nicht hinreichend aufgeklärten Umständen alle bisherigen Sicherheitsapparate entweder geradezu ihre Dienste versagen oder doch falsche und sich widersprechende Indicationen geben müfsten,

Digitized by Google

nachdem bei mehreren dieser furchtbaren Catastrophen die erhobenen Thatbestände es beinahe aufser Zweifel setzten, dafs die Locomotivführer noch unmittelbar vor denselben ihrer Schuldigkeit nachkamen. So wurde u. v. a. bei der schrecklichen Kesselexplosion der Locomotive Jason, die sich am 27. Juli 1848 auf der Kaiser-Ferdinands-Nordbahn zwischen Hullein und Napagedl ereignete, der Locomotivführer etwa eine halbe Minute vor der Catastrophe von einem Bahnwächter eifrig mit der Maschine beschäftigt erblickt; ein zweiter Bahnwächter sagte aus, dafs er kurz vorher die Pumpen spielen gesehen habe, und der sterbende Tenderwächter versicherte kurz vor seinem Tode, dafs noch Wasser genug im Kessel gewesen sey! u. s. w., lauter Anzeichen einer pflichtgemäfsen Thätigkeit des Personals noch unmittelbar vor dem hereinbrechenden Unheil!

Sollte man nun bei so bewandten Umständen die Vermehrung der bisherigen Sicherheitsapparate durch noch einen neuen für überflüssig halten, welcher, so wie ich ihn mir denke, an Gröfse kaum einer Wallnufs gleich kommt, also ungemein wenig Raum beansprucht, höchstens einige Gulden kostet, der leicht herzustellen, leicht zu repariren und der Abnutzung nur wenig unterworfen ist? — ein Apparat der ungemein empfindlich, schnell und präcise indicirt, und möglicher- ja wahrscheinlicher Weise sogar noch verläfslicher d. h. zufälligen Störungen weniger unterworfen seyn dürfte, als die bisherigen? — sollte man, sage ich, einem Apparate eine Stelle unter den übrigen Sicherheitsvorrichtungen versagen, der noch überdiefs ohne die mindeste Gefahr gehandhabt werden kann, den übrigen Dienst nicht im geringsten stört oder beeinträchtiget, selbst bei langen Fahrten nur wenig Dampf consumirt, welcher weder eine besondere Befähigung des Dienstpersonals noch irgend eine, Zeit und Aufmerksamkeit in Anspruch nehmende, besondere Bedienung erheischt; und der endlich zur Beruhigung und zum Heile aller, dem Locomotivführer, was man nicht genug beherzigen kann, auch ungefragt und unaufgefordert, gleichsam wie in einem continuirlichen Redestrom,

Digitized by Google

treuen Bericht erstattet über das, was während der ganzen langen Fahrt im Innern des Dampfkessels vorgeht??

Dafs das praktische Leben und die Industrie ein solches Anerbieten der Wissenschaft ohne weitere Prüfung und Würdigung vom praktischen Standpunkte aus, denn ja nur diefs spreche ich an, auch jetzt noch zurückweisen sollten, vermag ich, mancher der Art gemachten Erfahrungen ungeachtet, dennoch kaum zu glauben! Doch wie dem auch sey, ich für meinen Theil habe wenigstens geglaubt, diese mir am Herzen liegende Angelegenheit soweit durchführen zu sollen, als Gelegenheit und Mittel mir diefs nur immer ermöglichten.

Und nun lade ich die verehrten Hrn. Anwesenden ein, sich von der Wahrheit des so eben Mitgetheilten durch eigene Wahrnehmung zu überzeugen.

Unmittelbar darauf wurde ein mit den nöthigen Sicherheitsvorrichtungen und einem akustischen Flugrädchen versehener Dampfapparat herbeigebracht und sofort in Thätigkeit gesetzt. Der Erfolg auch dieser Versuche entsprach in jeder Beziehung den gehegten Erwartungen.

Nachschrift.

Da die bisherigen Versuche gezeigt haben, dafs der Umfang der vom menschlichen Gehöre noch wahrnehmbaren Töne (von beiläufig $14\frac{1}{2}$ Octaven) einem Spannungsintervalle von beiläufig 17 bis 18 Atmosphären entspricht, so wollte ich, wiewohl ich nicht im Geringsten daran zweifelte, dennoch es zu noch mehrerer Sicherheit unmittelbar versuchen, ob sich der Anfang derselben durch Verkleinerung der Zuflufsöffnung des Dampfes oder der comprimirten Luft beliebig wohin verlegen liefse. Es wurden daher nachträglich die oben erwähnten Versuche auch noch in der Weise durchgeführt, dafs der tiefste Ton erst bei 2^t, 3^t, 4^t, 5^t, 6^t und 7^t Atmosphären Dampf-Spannung stattfand. Um hierin noch weiter zu gehen, nahm ich meine Zuflucht zur comprimirten Luft, und es wurden diese Versuche, unter gefälliger Mitwirkung der HH. Dr. Natterer

Digitized by Google

und Dr. Aettenbacher jun. auch noch mit comprimirter Luft von beiläufig 20, 40 und 85 Atmosphären Spannung angestellt. Bei Wiederholung des letzteren Versuches wurde zwar, wahrscheinlich weil die Oeffnung hierfür noch immer zu grofs war oder aus irgend einem anderen zufälligen Grunde, die Sirene zerstört und durch die ungeheure Gewalt der ausströmenden Luft gänzlich verbogen. Allein dennoch schöpfe ich daraus die volle Ueberzeugung, dafs das Cagniard'sche Flugrädchen bei gehöriger Construction ganz geeignet seyn dürfte, den Spannungsgrad von Dämpfen und comprimirter Luft, selbst bei beliebig noch so hohem Drucke noch anzuzeigen und zu bestimmen. Den oben aufgezählten Vorzügen dieses einfachen Apparates vor anderen mufs noch hinzugefügt werden, dafs man mit der gröfsten Leichtigkeit Hunderte solcher Flugrädchen auf das Genaueste zusammenstimmen kann, um eine völlige Gleichförmigkeit in ihren Indicationen zu erzielen. Auch darf schliefslich der Umstand nicht verschwiegen werden, dafs wegen der ungemein leichten Beweglichkeit und geringen Masse des Rädchens das Trägheitsmoment desselben verschwindend klein, seine Empfindlichkeit aber aus gleichem Grunde ungemein grofs seyn mufs. Möge dieser Vorschlag auch anderwärts eine freundliche Aufnahme und Berücksichtigung finden.

VII. *Ueber die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum; wie sie sich dem unbewaffneten Auge zeigen; von O. J. Broch.*

(*Nyt Magazin f. Naturvidenskaberne* Bd. IV.)

Man bedarf nur eines mittelmäfsigen Prismas um im Sonnenspectrum und selbst im Spectrum des Tageslichtes einzelne Fraunhofer'sche Linien mit unbewaffnetem Auge wahrzunehmen. Dagegen erfordert es ein etwas besseres Prisma,

Digitized by Google

wenn man sie auf einen Papierschirm oder eine mattgeschliffene Glasplatte projiciren will. Das beste Glasprisma, welches das physikalische Kabinet in Christiania besitzt, ist von Soleil in Paris. Indefs kann es sich doch mit den von Fraunhofer selbst geschliffenen Prismen nicht messen, wie denn zur Zeit wohl kein Optikus im Stande ist, sich so reine Glasmassen zu verschaffen wie Fraunhofer anwandte. Soweit mir bekannt, bedient man sich noch immer der von diesem ausgezeichneten Künstler und Naturforscher hinterlassenen Glasmassen, wenn von seinen Nachfolgern in München ein besonders feines optisches Instrument verfertigt werden soll.

Um das Sonnenspectrum auf einem Schirm hervorzubringen, läfst man Sonnenlicht durch einen engen Schlitz auf die damit parallele Kante eines Prismas fallen, und concentrirt die daselbst gebrochenen Strahlen durch eine achromatische Sammellinse auf den Schirm. Bezeichnet man die Brennweite der Linse mit f, den Weg, den das Sonnenlicht von dem Schlitze durch das Prisma nach der Linse zu durchlaufen hat, mit a, und den Abstand der Linse von dem Schirm mit b, so können a und b so grofs genommen werden, dafs

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Dann sieht man mehre Fraunhofer'sche Linien auf dem Schirme, besonders wenn dieser aus mattgeschliffenem Glase besteht. Mit einem Fraunhofer'schen Prisma habe ich auf diese Weise in Stockholm bei Baron Wrede die festen Linien des Spectrums in grofser Anzahl gesehen, so scharf und deutlich, wie man es nur wünschen kann. In der Abbildung des Sonnenspectrums Taf. IV. Fig. 4 sind die stärkeren Linien, nach dessen Projection auf dem Schirm, und die schwächeren Linien nach dem Augenmaafs gezeichnet [1]).

1) Man wird diese Figur im nächsten Ergänzungsheft finden, kann sich indefs schon aus dem, was der Verfasser weiterhin bemerkt, orientiren, wenn man Fraunhofer's Abbildung des Sonnenspectrums zur Hand hat. *P.*

Digitized by Google

Um die festen Linien im Sonnenspectrum unmittelbar zu sehen, stellt man das Auge dicht hinter das Prisma, und macht den Abstand des Prismas von dem feinen Schlitz, durch welchem das Licht einfällt, gleich der Weite des deutlichen Sehens oder doch nur wenig gröfser. Wenn man nicht unmittelbares oder regelmäfsig reflectirtes Sonnenlicht, sondern nur gewöhnliches Tageslicht anwenden kann, sieht man nichts vor III und auch nicht leicht etwas vor XIII. Bei Sonnenlicht dagegen sieht man weit mehr, als die hier gezeichneten Linien. Um die Linien vor XIII zu sehen, braucht man am besten ein azurblaues Glas, welches das Licht von VI mit XII bedeutend schwächt und folglich den übrigen Theil des Spectrums leichter wahrnehmen läfst. Um die Linien in dem rothen Theil des Sonnenspectrums zu sehen, bedient man sich am besten eines rothen Glases, welches den rothen und orangenen Theil des Spectrums bis VI wahrnehmen läfst. Die Linie IV zeigt sich dann etwa mitten in diesem Theil des Spectrums.

Ein scharfer Uebergang zwischen den Farben im Sonnenspectrum ist nicht bemerklich. Etwas schärfer als sonst ist indefs dieser Uebergang vom Orange zum Gelb bei VI und vom Gelb zum Grün bei VII, so wie vom Grün zum Blau zwischen IX und X. Das Gelb nimmt nur einen kleinen Theil des Spectrums ein, von VI bis etwas vor VII, ist aber sehr intensiv.

Als ich das von mir gezeichnete Spectrum mit den in den gewöhnlichen Lehrbüchern (Pouillet, Baumgartner, Lamé, Herschel, Radicke) enthaltenen und den darin angegebenen Farbengränzen verglich, ward ich höchst unsicher, welche Linien die sieben von Fraunhofer mit *B, C, D, E, F, G, H* bezeichneten seyen. Zwischen den verschiedenen Abbildungen war gar keine besondere Gleichheit. Ich mufs daher annehmen, dafs die Zeichnungen im Allgemeinen nicht nach der Natur ausgeführt sind und keine sonderliche Sorgfalt auf sie verwandt worden ist. Ich nahm daher die in den Denkschriften der Münchner Akademie von Fraunhofer selbst mit so ausgezeichnetem Fleifs verfertigte

Digitized by Google

Zeichnung des Spectrums, so wie solches sich dem mit einem Fernrohre bewaffneten Auge zeigt. Da jedoch mehre Linien, welche dem bloſsen Auge als starke einfache Striche erscheinen, sich bei der Beobachtung durch ein Fernrohr oft in eine Anzahl dicht stehender schwacher Striche auflösen, und zugleich eine unzählige Menge bis dahin unsichtbarer Striche hervortritt, so ist der Vergleich mit einer solchen Zeichnung nicht leicht. Wer sich in einem analogen Fall davon überzeugen will, braucht nur das Mondsbild, wie es sich dem bloſsen Auge zeigt, mit einer Mondskarte zu vergleichen.

Einzelne Fraunhofer'sche Linien, wie *H*, waren allerdings kenntlich, aber über die wichtigsten in den helleren Theil des Spectrums fallenden Linien blieb ich dennoch in einiger Ungewiſsheit. Ich bediente mich daher der folgenden Beobachtungen.

Eine parallel der Axe geschnittene Bergkrystallplatte, deren Dicke durch einen genauen Lamellenmesser zu $0^m,200$ gefunden war, wurde zwischen zwei gekreuzte Nicol'sche Prismen gestellt; sie zeigte dann eine grüne Farbe. Analysirt mit einem Glasprisma zeigte sie einen deutlich schwarzen Strich bei VI, etwas hinter V, und einen anderen weniger deutlichen bei XII. Bei Parallelismus der Nicol'schen Prismen zeigte sie einen schwarzen Strich bei VIII.

Bezeichnet d die Dicke der Platte, $n'-n$ den Unterschied der Brechungscoëfficienten und k eine ganze Zahl, so müssen die schwarzen Striche bei gekreuzten Nicol'schen Prismen sich in demjenigen Theile des Sonnenspectrums zeigen, dessen Wellenlängen $=\frac{d(n'-n)}{k}$, und bei parallelen Nicol'schen Prismen in dem Theile, dessen Wellenlängen $=\frac{d(n'-n)}{k+\frac{1}{2}}$. Nun ist für die gelben Strahlen, in dessen Nähe VI liegt, $n'-n=0{,}0091$ und für die mittleren grünen Strahlen, wo VIII liegt, $n'-n=0{,}0092$. Man hat also, wenn man die Wellenlänge in Luft für die Theile des Spectrums, worin die zwei schwarzen Striche beobachtet sind, mit l und l' bezeichnet, folgende Gleichungen:

Digitized by Google

$$\frac{0^m,2\,.\,0,0091}{k} = l; \quad \frac{0^m,2\,.\,0,0092}{k+\frac{1}{2}} = l'.$$

Setzt man nun

$k=1$ so erhält man:	$l=0^m,00182$	$l'=0^m,001227$
$k=2$	$l=0\ ,00091$	$l'=0\ ,000736$
$k=3$	$l=0\ ,000607$	$l'=0\ ,000526$
$k=4$	$l=0\ ,000455$	$l'=0\ ,000409.$

Nun ist nach Fraunhofer's Beobachtungen:

für B;	$l=0^m,0006878$	für F;	$l=0^m,0004843$
» C;	$l=0\ ,0006564$	» G;	$l=0\ ,0004291$
» D;	$l=0\ ,0005888$	» H;	$l=0\ ,0003928$
» E;	$l=0\ ,0005260.$		

Man mufs also für die in der Nähe von VI und bei VIII beobachteten Striche $k=3$, für den bei XII beobachteten Strich $k=4$ nehmen, die Linie VI mag die Fraunhofersche D seyn, VIII die Linie E, und XII mag einigermafsen mitten zwischen F und G fallen.

Dafs VI die Fraunhofer'sche Linie D ist, folgt auch daraus, dafs dasselbe genau zusammenfällt mit dem hell orangefarbenen Strich im Spectrum des Lichts der äufseren Flamme einer Talgkerze, welche nach Fraunhofer denselben Brechungscoëfficienten wie D hat. Ich überzeugte mich davon, indem ich durch die Oeffnung der Spalte gleichzeitig dieses Licht und das Tageslicht einfallen liefs.

Beim Vergleich mit Fraunhofer's Zeichnung findet man leicht, dafs

I	ist A	VIII	ist E
II	» a	IV	» b
III	» B	X	» F
IV	» C	XIII	» G
VI	» D	XIV	» H.

Zwischen C und D findet sich bei V ein starker schwarzer Strich, der intensiver ist als die Linie C, welche auch in Fraunhofer's Zeichnung angegeben ist, aber weit schwächer. In der Nähe von D bei VII sieht man auch eine Menge dichter, feiner Linien, welche, wenn die Spalte breit ist, einen breiten schwarzen Strich zu bilden scheinen,

Digitized by Google

der in dem von einem minder guten Glasprisma erzeugten Spectrum einer der am leichtest wahrnehmbaren ist. Bei XI liegt ein Bündel feiner Linien. Zwischen *G* und *H* liegen drei sehr breite Bündel feiner Linien. Bei *H* befinden sich gleichfalls zwei starke Bündel ähnlicher Linien, die diesen Strich sehr deutlich machen.

In dem Spectrum des Mondslicht sieht man dieselben Linien wie in dem des Sonnenlichts. Da der Unterschied in der Lichtintensität zwischen dem gelben Theile des Spectrums und den beiden Enden desselben beim Mondslichte bedeutend geringer ist als beim Sonnenlicht, so sieht man auch die äufsersten Linien, besonders im violetten Theil, sehr deutlich.

Da die Dicke der vom Sonnenlicht durchlaufenen Luftschicht einen nicht unbedeutenden Einflufs auf die Deutlichkeit und Stärke der festen Striche im Sonnenspectrum hat, so mag hinzugefügt seyn, dafs meine Beobachtungen zu Anfange des Winters 1845 — 46 gemacht wurden, entweder kurz nach Aufgang der Sonne oder nahe beim Untergang derselben.

VIII. *Methode zur genauen Bestimmung der Lufttemperatur; von Hrn. E. Liais.*

(*Compt. rend. T. XXXIII. p.* 207.)

Wie bekannt steht ein der freien Luft ausgesetztes Thermometer unter beständigem Einflufs der von den umgebenden Körpern ausgestrahlten Wärme und die von demselben angezeigte Temperatur kann deshalb nur annäherungsweise als die richtige Temperatur der Luft betrachtet werden. Es ist indefs für die Meteorologie sehr wichtig diese Temratur zu kennen. Noch gröfser ist die Wichtigkeit für die Astronomie, wegen des Einflufses der Lufttemperatur auf

Digitized by Google

die Strahlenbrechung. Es ist daher interessant eine Methode aufzusuchen, mittelst deren man diese Temperatur genau erhalten könnte.

Zu dem Ende denke man sich drei gleiche Thermometer versehen mit sorgfältig verglichenen Scalen. Wenn man diese drei Thermometer an einer gegen Norden liegenden und mit einem gleichmäfsigen Ueberzug versehenen Mauer, etwa 1 Meter von einander entfernt, ähnlich aufhängt, wenn bis zu mehren Metern Abstand keine andere Mauern oder keine Bäume vorhanden sind, welche auf die Strahlung einwirken könnten, und endlich wenn der Boden bis zu mehren Metern von der Mauer mit einer gleichförmigen Vegetation bedeckt oder auch ganz kahl und von gleicher Natur ist, wird man ohne merklichen Fehler annehmen können, dafs diese drei Thermometer eine gleiche Menge strahlender Wärme aufnehmen. (Zur gröfseren Sicherheit könnte man neben jedem Thermometer zwei Schirme anbringen, einen auf jeder Seite, um den aus ihrer Nachbarschaft entspringenden Mangel an Regelmäfsigkeit zu zerstören. Die Schirme könnten auch angewandt werden, um die Ungleichheit der Wirkung benachbarter Körper zu vernichten, im Fall man die vorher angegebenen Bedingungen nicht verwirklichen könnte.)

Diefs gesetzt, denke man sich die Kugel jeder dieser drei Thermometer überzogen mit einer Substanz von anderem Emissionsvermögen. Diese sorgfältig bestimmten Emissionsvermögen seyen f, f', f''. Wenn alle Körper, die im Stande wären strahlende Wärme zu den Thermometern zu senden, gleiche Temperatur wie die umgebende Luft hätten, würde jedes der drei Thermometer diese Temperatur richtig angeben. Allein dem ist nicht also und sie zeigen nun verschiedene Temperaturen.

Nennen wir also A den unbekannten Unterschied zwischen der von allen benachbarten Körpern auf jedes der Thermometer gesandten Menge strahlender Wärme, und derjenigen, welche sie senden würden, wenn sie gleiche Temperatur wie die umgebende Luft besäfsen. Wegen der

Digitized by Google

Gleichheit der Emissions- und Absorptionsvermögen absorbirt von dieser strahlenden Wärmemenge A das erste Thermometer eine Menge Af, das zweite eine Af' und das dritte eine Af''. Wegen dieses Ueberschufses von absorbirter Wärme Af nimmt das erste Thermometer einen, uns unbekannten Ueberschufs t über die Temperatur der umgebenden Luft an. Nennen wir a und b die Temperaturunterschiede des ersten und zweiten Thermometers mit dem ersten, Unterschiede, welche die Beobachtung kennen lehrt, so wird der Ueberschufs des zweiten Thermometers über die Temperatur der umgebenden Luft seyn $= t + a$, der des dritten $= t + b$.

Bemerken wir nun, dafs, zum Gleichgewicht, die vermöge des Temperaturüberschusses vom ersten Thermometer verlorne Wärmemenge gleich Af seyn mufs, die vom zweiten Thermometer vermöge des Temperaturüberschusses $t + a$ verlorne gleich Af', und endlich die vom dritten vermöge des Ueberschusses $t + b$ gleich Af''. Die von jedem Thermometer verlorne Wärmemenge wird aber aus zwei Theilen bestehen, einen durch Strahlung verlornen, und einen durch Berührung mit der umgebenden Luft fortgenommenen. Für einen gleichen Temperaturunterschied ist die durch Strahlung verlorne Wärmemenge proportional dem Emissionsvermögen der strahlenden Oberfläche, und für ein selbes Emissionsvermögen kann man, ohne merklichen Fehler, die durch Strahlung verlorne Wärme als proportional den Temperaturüberschüssen betrachten, sobald diese Ueberschüsse, wie im gegenwärtigen Fall, nur wenige Grade betragen.

Nennen wir also mft die vom ersten Thermometer vermöge seines Temperaturüberschusses t verlorne Menge strahlender Wärme, so wird die vom zweiten vermöge seines Ueberschusses $t + a$ verlorne seyn $= mf'(t + a)$, und die vom dritten vermöge seines Ueberschusses $t + b$ verlorne $= mf''(t + b)$.

Was die durch Berührung der Luft verlorne Wärmemenge betrifft, so ist sie unabhängig von dem Emissions-

Digitized by Google

vermögen der Oberfläche, und man kann sie ohne merklichen Irrthum als proportional betrachten dem Ueberschufs der Temperaturen der Thermometer über die der umgebenden Luft, sobald diese Ueberschüsse, wie im gegenwärtigen Fall, nur wenige Grade betragen; diefs ergiebt sich, wie bei der strahlenden Wärme, wenn man die Ausdrücke für die Erkaltung in Reihen entwickelt.

Nennen wir also nt diese Wärmemenge für das erste Thermometer, so wird sie $n(t+a)$ für das zweite, und $n(t+b)$ für das dritte seyn. Wir haben also die drei Gleichungen:

$$Af = mft + nt$$
$$Af' = mf'(t+a) + n(t+a)$$
$$Af'' = mf''(t+b) + n(t+b).$$

Dividirt man die erste durch mf, die zweite durch mf' und die dritte durch mf'', setzt $\frac{n}{m} = k$ und eliminirt $\frac{A}{m}$, so hat man die beiden Gleichungen:

$$\frac{k}{f}t = a + \frac{k}{f'}(t+a)$$
$$\frac{k}{f}t = b + \frac{k}{f''}(t+b).$$

Diese beiden Gleichungen enthalten nur die beiden Unbekannten k und t, und lassen sich unter folgende Form bringen:

$$k(f't - ft - af) = aff'$$
$$k(f''t - ft - bf) = bff''.$$

Dividirt man die eine dieser Gleichungen durch die andere, so fällt k heraus und man erhält eine Gleichung ersten Grades in t, woraus sich ergiebt

$$t = \frac{abf(f''-f')}{bf''(f'-f) - af'(f''-f)}.$$

Zieht man von der durch das erste Thermometer angegebenen Temperatur diesen Werth von t ab, welcher positiv oder negativ seyn kann, je nachdem die benachbarten Körper wärmer oder kälter als die Luft sind, so erhält man die richtige Temperatur der Luft.

Digitized by Google

IX. *Ueber ein neues Scalenoëder des Eisenglanzes; von N. v. Kokscharow.*

In der Polewskischen Grube, des Katharinenburger Bergreviers im Ural, finden sich aufserordentlich schöne, einzeln vorkommende Krystalle des Eisenglanzes, welche häufig sehr grofs und complicirt sind. An einigen dieser Krystalle, welche die Form des Hauptrhomboëders mit abgestumpften Endkanten darbieten, d. h. an Krystallen, die nach der Bezeichnungsweise von Naumann die Combination von $+R.-\frac{1}{2}R$ darstellen, finden sich Flächen eines noch nicht näher bestimmten Scalenoëders vor. Die Flächen dieses neuen Scalenoëders stumpfen die Combinations-Kanten zwischen dem Haupt- und dem ersten stumpferen Rhomboëder ab; liegen folglich in der Endkanten-Zone des Hauptrhomboëders. Da diese Flächen an dem von mir untersuchten Exemplare sehr glänzend waren, so gelang es mir, vermittelst des Reflectionsgoniometers von Mitscherlich, den Neigungswinkel in den längeren und kürzeren Endkanten ziemlich genau zu bestimmen; der erstere Neigungswinkel betrug: 130° 24′ 45″, der letztere 155° 48′ 0″. Hieraus folgt, dafs das krystallographische Zeichen des Scalenoëders nach der Bezeichnungsweise von Weifs und Naumann,

$$\frac{1}{2}(\frac{1}{3}a:b:\frac{1}{3}b:\frac{1}{2}b)=\frac{1}{2}(\frac{3}{5}P\frac{3}{2})=\frac{1}{5}R^3$$

seyn mufs.

Wenn man die Angaben von Naumann zu Grunde legt, d. h. den Neigungswinkel in den Endkanten des Hauptrhomboëders = 86° 0′ 0″ annimmt [1]), was mit meinen eigenen Messungen übereinstimmt, so erhält man durch Rechnung für unser Scalenoëder den Neigungswinkel:

in den längeren Endkanten = 130° 24′ 20″
in den kürzeren Endkanten = 155° 47′ 24″
in den Seitenkanten = 77° 58′ 8″.

Und ferner:

$$\frac{1}{3}R^3:-\frac{1}{7}R=167°\,53'\,42''.$$

Die berechneten Winkelgröfsen entsprechen, wie man sieht, fast ganz genau den Winkeln, die durch Messung erhalten wurden.

1) C. F. Naumann. Elemente der Mineralogie, zweite Auflage, Leipzig 1850 S. 411.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. III. ERGÄNZUNG. St. 3.

I. *Bemerkungen über das absolute Gewicht der atmosphärischen Luft in Berlin, so wie über die Vergleichung der preufsischen Maafse und Gewichte mit den französischen und englischen,*

von W. Lasch.

Hr. Regnault hat in der neuesten Zeit Untersuchungen über das specifische und absolute Gewicht der Gase bekannt gemacht [1]), die sich nicht nur durch die dabei angewendete Methode, sondern auch durch die Uebereinstimmung der einzelnen Versuche so vortheilhaft auszeichnen, dafs man sie ohne Zweifel bei allen neueren Arbeiten als Basis benutzt wird, weshalb sie denn auch von Hrn. Poggendorff in seinen vielgelesenen Annalen [2]) einem gröfseren Kreise zugänglich gemacht worden sind.

Das Interesse, welches eine solche Arbeit für sich in Anspruch nimmt, hat mich bewogen sie genauer zu studiren; dabei haben sich indefs kleine Rechnungsfehler gezeigt, die das Endresultat zwar nicht viel verändern, deren Berichtigung mir indefs wünschenswerth schien, namentlich was die im vorher citirten Werke pag. 158 aufgestellte Endformel anbetrifft.

Zuerst findet sich in der zweiten Abhandlung: über die Bestimmung der Dichtigkeit der Gase, pag. 138 bei der Bestimmung des Gewichtes der trocknen Luft, welche den

1) *Relation des expériences pour déterminer les principales lois physiques et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur par M. V. Regnault. Paris* 1847. *Deuxième et troisième mémoire.*

2) Pogg. Ann. Bd. 74, S. 202.

Digitized by Google

angewandten Ballon bei 0° und 760^{mm} füllt, im Versuch IX. die Zahl 11^{gr},7774, welche nach den mitgetheilten Wägungen in 12^{gr},7790 umgeändert werden mufs. Dann wird aber das Mittel aus diesen neun Versuchen anstatt 12^{gr},7781 etwas höher, nämlich

$$\frac{115,0044}{9} = 12^{gr},778266\ldots$$

Dadurch erleidet indefs das specifische Gewicht der Gasarten keine bemerkbare Veränderung, denn 12^{gr},778266 als Einheit genommen erhält man für das specifische Gewicht

des Stickstoffs 0,971360 des Sauerstoffs 1,105628
des Wasserstoffs 0,069268 der Kohlensäure 1,529084

mit einer Unsicherheit von etwa 0,0005, weshalb also nur drei Decimalstellen als sicher betrachtet werden können.

In der dritten Abhandlung: über das Gewicht eines Liters Luft, ist der Inhalt des Ballons bei 0° zu 9^{litr},881086 angegeben, und darnach wird bei 0° und 760^{mm}

das Gew. eines Liters atmosphärischer Luft = 1^{gr},293204
das eines Liters

Sickstoff = 1^{gr},256167 Sauerstoff = 1^{gr},429802
Wasserstoff = 0^{gr},089578 Kohlensäure = 1^{gr},977418.

Diefs Gewicht eines Liters Luft gilt natürlich nur für Paris, und Hr. Regnault hat deshalb pag. 158 auch eine Formel gegeben, nach der das Gewicht für jede Breite und jede Höhe über dem Meeresspiegel berechnet werden kann. Hierin ist indefs das Gewicht der Luft zu gering angegeben. Während es nämlich für die Höhe von Paris (ungefähr 60 Meter über dem Meere) und unter einer Breite von 45° zu 1^{gr},292697 berechnet ist, ist es schliefslich für dieselbe Breite im Niveau des Meeres geringer, zu 1^{gr},292673 gefunden, wahrscheinlich dadurch, dafs der zu addirende Logarithmus subtrahirt wurde, denn aus

$$1^{gr},292697\ (1,00001885)\ \frac{1}{1+\frac{2h}{R}}\ (1-0,002837\ \cos 2\lambda)$$

ist abgeleitet

Digitized by Google

$$1^{gr},292673 \frac{1}{1+\frac{2h}{R}}(1-0{,}002837\cos 2\lambda).$$

Führt man die Rechnung richtig aus, so wird die Endformel zur Bestimmung des Gewichtes eines Liters trockner atmosphärischer Luft unter der Breite λ und in der Höhe h über dem Meere, wenn die Schwere unter $45° = 1$, und der mittlere Erdradius $= R$ zu 6366198 Meter angenommen wird.

$$1^{gr},292721 \frac{1}{1+\frac{2h}{R}}(1-0{,}002837\cos 2\lambda).$$

Die verschiedenen für die Correction der Schwere angegebenen Formeln weichen indefs nicht ganz unbedeutend von einander ab. Ich habe deshalb geglaubt, wenn man einmal diese Correction anbringen will, die möglicher Weise auf die letzte noch einigermafsen zuverlässige Decimalstelle einen Einflufs haben kann, wenigstens die anwenden zu müssen, welche die gröfste Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Nach den, im Artikel »Schwere« in Gehler's neuem physikalischen Wörterbuche aufgeführten Angaben liegen die gebräuchlichen Formeln zwischen der von Biot in der Astron. phys. Th. 1 p. 199 zu

$$g' = g(1-0{,}00257\cos 2\varphi) \text{ und}$$

der in seinem *Traité de Physique T.* 1. *p.* 390 zu

$$g' = g(1-0{,}002837\cos 2\varphi)$$

angegebenen, worin g die Schwere unter 45°, g' die Schwere in der Breite φ bedeutet.

Munke hat in demselben Artikel eine Correctionsformel aus den mittleren Resultaten der neuesten Pendelmessungen berechnet, welche

$$g' = g(1-0{,}00260434\cos 2\varphi)$$

giebt.

Die Länge des einfachen Sekundenpendels unter den verschiedenen Breiten giebt jedenfalls den genauesten Ausdruck für die Wirkung der Schwere, und wenn man da-

Digitized by Google

bei die von Sabine aus seinen zahlreichen und sorgfältigen Versuchen abgeleiteten Werthe zum Grunde legt, wodurch die Länge des einfachen Sekundenpendels unter dem Aequator, auf den leeren Raum und den Meeresspiegel reducirt, zu 39,01520 engl. Zoll, und seine Zunahme für jeden Breitengrad $=0{,}20245$ engl. Zoll bestimmt wird, so erhält man aus diesen Zahlen, die Schwere unter dem Aequator $=1$, für die Breite φ die Correctionsformel

$$1+0{,}005189003\sin^2\varphi.$$

Bessel fand bei seinen Untersuchungen über die Länge des einfachen Sekundenpendels für Königsberg [1]), dafs die von ihm gemessene Pendellänge, mit der nach der Formel von Sabine berechneten verglichen, um 0,0062 pariser Linien gröfser war, als die Rechnung erforderte. Diese Formel findet sich in einer Anmerkung in pariser Linien zu $439''',2975+2''',28174\,(\sin \text{Polhöhe})^2$ angegeben.

Daraus erhält man den allgemeinen Ausdruck:

$$1+0{,}005194065\sin^2\varphi.$$

Auch Pouillet [2]) hat eine Formel für die Länge (l) des einfachen Sekundenpendels nach der Methode der kleinsten Quadrate aus den zahreichen von ihm aufgeführten Angaben zu

$$l=0^m{,}99102557+0^m{,}00507188\sin^2\varphi$$

berechnet, welche

$$1+0{,}00511780\sin^2\varphi$$

giebt, also von den vorhergehenden etwas abweicht.

Endlich hat C. E. Schmidt [3]) aus den vorzüglichsten Pendelbeobachtungen, denen von Sabine, Kater, Freycinet, Biot, Mathieu, Chaix und Anderen die Abplattung der Erde und die Schwere unter dem Aequator so bestimmt, dafs die Summe der Quadrate der Unterschiede

1) Untersuchungen über die Länge des einfachen Sekundenpendels von F. W. Bessel, Abhandl. der Acad. d. Wiss. zu Berlin a. d. J. 1826 S. 62.

2) *Elémens de physique expérimentale et de météorologie par M. Pouillet, quatrième édition pag.* 102 — 103.

3) Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie von Dr. J. C. E. Schmidt. 1829. Bd. I. S. 381.

Digitized by Google

zwischen den beobachteten und berechneten Längen der Pendel ein Minimum geworden ist, woraus die Abplattung $= \frac{1}{288{,}20}$ und die Länge (l) des Sekundenpendels in engl. Zollen für die Breite φ

$$l = 39'',015233 + 0'',202898 \sin^2 \varphi$$

oder $$l = 1 + 0{,}005200481 \sin^2 \varphi \text{ wird,}$$

wofür man ohne Fehler

$$l = 1 + 0{,}0052005 \sin^2 \varphi \text{ setzen kann.}$$

Legt man diese letzte Formel für die Correction der Schwere zum Grunde, und setzt die Schwere unter dem Aequator $G=1$, die Schwere unter der Breite $\varphi = g'$, so hat man den allgemeinen Ausdruck

$$g' = G(1 + 0{,}0052005 \sin^2 \varphi).$$

In der Regel nimmt man aber die Schwere unter 45° Breite als Einheit an; bezeichnet man diese mit g, so ergiebt sich, wenn auch

$$\sin^2 \varphi = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2} \cos 2\varphi \text{ gesetzt wird}$$

$$g' = G(1{,}00260025 - 0{,}00260025 \cos 2\varphi),$$

also bei $\varphi = 45$, wo $\cos 2\varphi = 0$

$$g = G(1{,}00260025) \text{ und } G = \frac{g}{1{,}00260025}.$$

Setzt man der Kürze wegen $1{,}00260025 = n$, so hat man die beiden Gleichungen

$$g' = G(n - [n - 1 \cos 2\varphi])$$

$$G = \frac{g}{n},$$

woraus durch Substitution folgt

$$g' = \frac{g}{n}(n - [n - 1 \cos 2\varphi])$$

$$= g\left(1 - \left[\frac{n-1}{n} \cos 2\varphi\right]\right).$$

$\frac{n-1}{n}$ berechnet sich $= 0{,}0025935$, daher wird

$$g' = g(1 - 0{,}0025935 \cos 2\varphi),$$

worin g die Schwere unter 45°

g' die Schwere unter der Breite φ bezeichnet.

Digitized by Google

Bei Gelegenheit der für barometrische Höhenmessungen nothwendigen Correctionen hat C. Schmidt[1]) eine Formel für die Correction der Schwere angeführt, die nicht direct aus den Pendellängen abgeleitet, sondern mit Hülfe des Clairaut'schen Theorems berechnet worden ist. Nach diesem ist bekanntlich, unabhängig von der Dichtigkeit der Erde, die Summe der Zunahme der Schwere vom Aequator zum Pole und der Abplattung gleich dem zwei- und einhalbfachen des Verhältnisses der Schwungkraft zur Schwere am Aequator, wenn die Schwere am Aequator $=1$ gesetzt wird.

Die Abplattung der Erde und die Schwere unter dem Aequator hat Schmidt aus den vorher angeführten Untersuchungen über die Pendellänge, erstere zu $\frac{1}{288,20}$, und die Schwere unter dem Aequator $2g=30,10906$ pariser Fufs abgeleitet, und für die Dimensionen der Erde den Umfang des Aequators 20557561 Toisen und seinen Halbmesser 3271837,5 Toisen gesetzt.

Das Verhältnifs der Schwere zur Schwungkraft (p) ergiebt sich dann

$$p=\frac{c^2}{2gr}=\frac{1}{288,44}$$

und daraus die Formel für die Correction der Schwere

$$g'=g(1-0,0025920\cos 2\varphi),$$

welche fast genau mit der vorhergehenden übereinstimmt.

Ich habe indefs der unmittelbar aus der corrigirten Pendellänge abgeleiteten Formel den Vorzug eingeräumt, einmal weil sie ebenfalls nur wenig von der abweicht, welche aus den Beobachtungen von Sabine abgeleitet werden kann, und der von Bessel angeführten sehr nahe liegt, aber auch, weil sie dieselbe ist, welche Hr. Prof. Poggendorff[2]) schon früher zur Correction des Barometerstandes angewendet und empfohlen hat.

1) Lehrbuch der mathem. und phys. Geographie. Göttingen 1830. Bd. 2. S. 201.

2) Annalen der Physik u. Chem. Bd. 37, S. 473.

Digitized by Google

Versucht man mit dem von Schmidt gegebenen Ausdrucke für die Pendellänge, welcher ihr zum Grunde liegt, die Pendellängen für Berlin, Königsberg, Paris und London zu berechnen, so zeigt sich eine Uebereinstimmung mit den wirklich gefundenen, die ihren Gebrauch noch mehr rechtfertigt.

Die Länge des einfachen Sekundenpendels für die Oberfläche des Meeres in der Breite φ beträgt nach Schmidt in englischen Zollen

$$l = 39'',015233 + 0'',202898 \sin^2 \varphi.$$

Für Königsberg, wo $\varphi = 54^\circ\ 42'\ 50''$ ist, findet man also

$$l = 39'',015233 + 0'',202898 \sin^2 (54^\circ\ 42'\ 50'')$$

$\log. \sin 54^\circ\ 42'\ 50''$	$= \overline{9,9118379}$
$\log. \sin^2$	$= \overline{0,8236758} - 1$
$+ \log. 0'',202898$	$= \overline{0,3072777} - 1$
$\log. 0'',202898 \sin^2 \varphi$	$= \overline{0,1309535} - 1$

num. $= 0'',135193$ engl. Zoll

dazu $= 39'',015233$

giebt $l = \overline{39'',150426} = 469,805112$ zwölftel Zoll.

Schmidt hat bei seinen Rechnungen das Verhältnifs des englischen Fufses zum pariser wie 1:1,06575 angenommen, es wird also diese Länge in pariser Linien

$$\frac{469''',805112}{1,06575} = 440''',8211.$$

Bessel fand die Länge des einfachen Sekundenpendels für Königsberg [1]) im Niveau des Meeres $= 440''',8179$ pariser Linien. Die Rechnung ergiebt sie gröfser um $0''',0032$ pariser Linien.

Für Berlin wird $\varphi = 52^\circ\ 30'\ 16''$, und man erhält auf dieselbe Weise

$$l = 440''',73699 \text{ pariser Linien.}$$

Bessel hat durch Messen $440''',739$ pariser Linien gefunden [2]). Die Rechnung ergiebt weniger $0''',002$ pariser Linien.

1) Abhandlungen der Königl. Academie d. Wissenschaften zu Berlin f. d. Jahr 1826. S. 56.

2) Abhandlungen der Königl. Academie d. Wissenschaften zu Berlin f. d. Jahr 1835. S. 190.

Digitized by Google

Für Paris, unter 48° 50′ 14″ nördlicher Breite, beträgt die Länge des einfachen Sekundenpendels nach Biot, Bouvard, Mathieu und Freycinet [1])

$0^m,9938666.$

Die Rechnung mit obiger Formel ergiebt

$0^m,9939043$

also mehr $0^m,0000377 = 0''',0167$ pariser Linien.

London liegt unter 51° 31′ 8″,40 nördlicher Breite, und die Pendellänge ist dort nach Kater's Messungen 39″,13929 engl. Zoll [2]).

Berechnet wird sie = 39″,13956 engl. Zoll, also gröfser um 0″,00027 engl. Zoll oder 0,00324 zwölftel Zoll.

Wird nun mit Hülfe der vorher bezeichneten Formel für die Correction der Schwere das Gewicht eines Liters trockner atmosphärischer Luft bei 0° und 760^{mm}, welches Hr. Regnault in Paris unter 48° 50′ 14″ Breite und 60 Meter über dem Meere zu $1^{gr},239204$ bestimmte, für irgend eine andere Breite und Höhe über dem Meere gesucht, so ist, wenn

g die Intensität der Schwere unter 45° im Meeresniveau,

g' die Schwere in der Breite φ unter denselben Umständen bedeutet, und $0{,}0025935 = \delta$ gesetzt wird

$$g' = g(1 - \delta \cos 2\varphi).$$

Ist aber die Schwere γ in einer Erhebung von a Toisen in Rechnung zu ziehen, so mufs dafür ebenfalls eine Correction angebracht werden, und zwar verhält sich, da die Schwere abnimmt wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen, wenn R den Erdradius in der dazu gehörigen Breite bezeichnet

$$\gamma : g' = R^2 : (R+a)^2$$

also

$$g' = \gamma \frac{(R+a)^2}{R^2} = \gamma \left(1 + \frac{2a}{R}\right)$$

wenn man $\frac{a^2}{R^2}$ wegen der Kleinheit vernachlässigt.

1) *Elémens de physique expérimentale etc. p. Pouillet. 4ème édit.* 1. *p.* 102 – 103.

2) *Philosophical Transactions of the Royal Society for* 1819 *part. III. p.* 415.

Digitized by Google

Diefs in die obige Gleichung gesetzt giebt

$$\gamma\left(1+\frac{2a}{R}\right)=g(1-\delta\cos 2\varphi)$$

$$\gamma=\frac{g(1-\delta\cos 2\varphi)}{1+\frac{2a}{R}},$$

worin γ die Schwere in einer Erhebung von a Toisen unter der Breite φ bedeutet.

Für die Breite von 45° und das Niveau des Meeres folgt hieraus die Intensität der Schwere

$$g=\frac{\gamma\left(1+\frac{2a}{R}\right)}{1-\delta.\cos 2\varphi}$$

und das Gewicht eines Liters trockner Luft von 0° und 760^{mm}, da $\gamma=1^{gr},293204$, $a=60$ Meter $=30{,}78444$ Toisen und $\varphi=48°\ 50'\ 14''$.

$$g=\frac{1{,}293204\left(1+\frac{61{,}56888}{3266322}\right)}{1-0{,}0025935\ \cos(97°\ 40'\ 28'')}$$

dessen Ausführung $g=1^{gr},2927807$ ergiebt.

In irgend einer Breite φ, bei einer Erhebung von h Toisen über das mittlere Niveau, ist dann das Gewicht eines Liters trockner atmosphärischer Luft von 0° und 760^{mm} Druck

$$\gamma=\frac{1^{gr},2927807\,(1-0{,}0025935\ \cos 2\varphi)}{1+\frac{2h}{R}}$$

worin $R=3266322$ Toisen angenommen werden kann [1]).

1) Streng genommen mufs hier für R der der Breite φ entsprechende Erdradius eingesetzt werden; gewöhnlich begnügt man sich jedoch mit dem mittleren Radius, den ich nach Schmidt's Berechnungen der Dimensionen der Erde angenommen habe, die nur wenig von den neuesten durch Bessel in diesen Annalen Bd. 42, S. 622 mitgetheilten abweichen. In seinem Lehrbuch der mathematischen und physikalischen Geographie Bd. 1, S. 202 finden sie sich angegeben:

Umfang des Aequators	= 20557561	Toisen
Halbmesser des Aequators	= 3271837,5	»
Halbe Erdaxe	= 3260920,3	»
Mittlerer Halbmesser	= 3266322	»

Digitized by Google

Für Berlin ist $\varphi = 52° 30' 16''$, $h = 17{,}77$ Toisen, also das Gewicht eines Liters trockner Luft unter normalen Umständen

$$\frac{1^{gr},2927807\,(1 - 0{,}0025935\cos 105° 0' 32'')}{1 + \frac{35{,}54}{3266322}}$$

$$= \frac{1^{gr},2927807 \,.\, 1{,}00067164}{1{,}00001088} = 1^{gr},2936348.$$

1000 Kubikcentimeter atmosphärischer Luft würden in Berlin bei 0° und 760^{mm} Barometerstand $1^{gr},2936348$ wiegen, mithin fast $0^{gr},0005$ schwerer seyn als bei gleicher Temperatur und unter gleichem Druck in Paris.

Es ist für manche Zwecke wünschenswerth statt der französischen Maafse und Gewichte die preufsischen anzuwenden, deshalb habe ich eine Vergleichung beider mit Hülfe der neuesten für diese nothwendigen Untersuchungen ebenfalls vorgenommen.

Schon früher hat Hr. Eytelwein [1]) bei Gelegenheit der Prüfung der Normalmaafse und Gewichte für den preufsischen Staat diese Vergleichung angestellt, dabei aber für das Volumen und die Dichtigkeit des Wassers ältere, im Jahre 1792 und 1794 von Blagden und Gilpin darüber angestellte Versuche zum Grunde gelegt, welche den sorgfältigen neueren Arbeiten von Hällström über denselben Gegenstand bedeutend an Zuverlässigkeit nachstehen. Diefs, und ein Paar Druckfehler in der Abhandlung des Hrn. Eytelwein veranlafsten mich die Rechnungen, so weit es nöthig war, zu wiederholen. Ebenso nothwendig war es auch, die Tabelle, welche Hr. Hällström [2]) für das Volumen und die Dichtigkeit des Wassers aufgestellt hat, aufs Neue zu berechnen, da die darin angegebene gröfste

1) Ueber die Prüfung der Normal-Maafse und Gewichte für den Königl. preufs. Staat und ihre Vergleichung mit den französischen Maafsen und Gewichten. Abhandl. der Academie der Wissensch. aus d. J. 1825.

2) *Vetenskaps Academiens Handlingar för år* 1833 *p.* 166 — 192. — Annalen der Physik u. Chemie Bd. 34, S. 220. 1835.

Digitized by Google

Dichtigkeit des Wassers nicht mit dem Resultat aus der angeführten Formel übereinstimmte, und sich bei der letzten Ableitung der Hauptformel, welche Hr. Hällström aus der Verbindung seiner Versuche mit denen von Munke und Stampher herleitet, ebenfalls eine geringe Abweichung zeigte, die, wie ich später fand, bereits Hr. Staatsrath Schumacher [1]) gelegentlich berichtigt hat. Sie ist dadurch entstanden, dafs Hr. Hällström bei der Addition der unten angegebenen vier Formeln von der Formel IX. die letzten Decimalstellen wegliefs, ändert jedoch die Resultate nur in den letzten Stellen, und es bleibt daher der vorher angeführte Fehler der einzige von Bedeutung in dieser werthvollen Abhandlung.

Vor kurzer Zeit sind auch von Hrn. J. Pierre [2]) neue Untersuchungen über das Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen angestellt, welche Hr. Regnault bei seinen Arbeiten benutzt hat; aber diese Versuche sind ohne Ordnung veröffentlicht, und Hr. Pierre sagt am Schlusse derselben, dafs er noch keine Formel habe auffinden können, welche im Stande wäre einen hinreichend genauen Ausdruck für die Ausdehnung des Wassers anzugeben. Man mufs auf die Benutzung dieser Arbeit also vorläufig verzichten.

Die von Hällström für das Volumen des Wassers von $0° - 30°$ C. aufgestellte Formel ist:

$$v = 1 - 0{,}000057577\,t + 0{,}0000075601\,t^2 - 0{,}000000035091\,t^3$$

als das arithmetische Mittel folgender vier

I. $v = 1 - 0{,}000049976\,t + 0{,}0000062453\,t^2 - 0{,}000000007645\,t^3$
V. $v = 1 - 0{,}000060835\,t + 0{,}0000081037\,t^2 - 0{,}000000048282\,t^3$
VI. $v = 1 - 0{,}000059269\,t + 0{,}0000076816\,t^2 - 0{,}000000037159\,t^3$
IX. $v = 1 - 0{,}000060280\,t + 0{,}0000082138\,t^2 - 0{,}000000047313\,t^3$.

1) *Philosoph. Transact. of the R. Society of London for* 1836. *part. II. p.* 457. *A Comparison of the late Imperial Standard Troy Pound weight with a Platina copy of the same, and with other standards of authority. Communicated by Prof. Schumacher in a Letter to F. Baily. pag.* 488.

2) *Annales de chimie et de physique.* 3ème *série t.* 15 *p.* 325.

Digitized by Google

Dieses wird aber

$$v = 1 - 0{,}000057590\,t + 0{,}0000075611\,t^2 - 0{,}000000035100\,t^3$$

und mit dieser Formel ist die beigefügte Tabelle berechnet.

Ist demnach die Dichte des Wassers bei $0° = 1$, so ist sie

bei $3°{,}9$ C. $= 1{,}00011169$ und bei $18°{,}75$ C. $= 0{,}99865480$.

Es verhält sich also die gröfste Dichte bei $3°{,}9$ C. zu der bei $18°{,}75$ C. $= 15°$ R. wie

$$1 : 0{,}99854327.$$

Dagegen hat Eytelwein nach den Versuchen von Blagden und Gilpin die Dichtigkeit des Wassers bei $3°{,}5$ R. und $15°$ R. angenommen wie

$$1{,}00094 : 0{,}999421 \text{ oder wie } 1 : 0{,}9984824$$

und mit Hülfe dieser Zahlen das Gewicht eines preufsischen Pfundes zu $467^{gr}{,}711$ bestimmt [1]).

Bei der Bestimmung der Gewichte ist man überall vom Maafs ausgegangen, es mufs deshalb einer Vergleichung verschiedener gebräuchlicher Gewichte die Vergleichung der ihnen zum Grunde liegenden Maafse vorhergehen.

Die preufsische Maafs- und Gewichtsordnung vom 16. Mai 1816 bestimmt die Länge eines preufsischen Fufses zu 139,13 Linien der *Toise du Pérou* [2]), wenn diese ihre Normaltemperatur d. h. $13°$ R. $= 16°$, 25 C. besitzt.

1) Eytelwein in den Abhandl. der Academie der Wissenschaften aus d. Jahre 1825 S. 14.

2) Es ist diese *Toise du Pérou* dieselbe, deren sich die HH. Bouguer und Condamine zu ihrer Gradmessung bedienten. Sie liegt sowohl dem französischen wie dem preufsischen Maafse zum Grunde, und deshalb sey es mir erlaubt die auf ihre Geschichte bezügliche Stelle aus der *Base du système métrique* hier anzuführen.

Es heifst in Bd. III, p. 405 in Bezug auf diese und die ihr gleiche *Toise du nord: Ces deux toises ont été faites en* 1735 *par Langlois; celle du Pérou sous la direction de Godin; la seconde sous la direction de Lacondamine, qui avait alors le dessein de la laisser en dépôt à l'Académie, pour avoir un modèle de celle qu'on emportait au Pérou, et y avoir recours en cas qu'il arrivât quelque accident à la première. On avait comparé ces deux toises ensemble*

Digitized by Google

Das Meter, welches ebenfalls von der *Toise du Pérou* abgeleitet wurde, soll gesetzlich 443,296 solcher Linien messen, deren die Toise bei ihrer Normaltemperatur 864 enthält [1]). Bei genauen Vergleichungen anderer Maafse mit den französischen hat man das Meter in der Regel nach seinem aus der bekannten Gradmessung abgeleiteten Verhältnifs zur Toise, wonach es 0,5130740 Toisen lang ist, die genau 443,295936 pariser Linien betragen, angenommen.

Hieraus ergiebt sich die Länge eines preufsischen Fufses zu

$$\frac{139,13}{443,296} = 0,313853497 \text{ und}$$

$$\frac{139,13}{443,295936} = 0,31385354274937454 \text{ Meter.}$$

Diese Zahlen stimmen nur bis zur siebenten Decimalstelle überein, es wir deshalb überflüssig seyn die Vergleichung beider Maafse über acht Stellen hinaus vorzunehmen. Im

dans une séance de l'Académie, et l'en n'y avait point trouvé la plus legère différence.

Au départ de Godin, Lacondamine et Bouguer, la toise faite par les soins de Lacondamine resta en dépôt à l'Académie, et c'est celle qui ensuite a été portée en Laponie par Maupertuis qui n'eut pas le temps d'en faire exécuter une copie.

1) *Base du système métrique T. III. p.* 664.

— *il en résulte que l'arc compris entre Dunkerque et Montjouy est de* 9° 40′ 45″,66. *Cette détermination a mis les calculateurs en état de conclure de l'arc mesuré entre Dunkerque et Montjouy l'étendue du quart du méridien terrestre compris entre l'équateur et le pôle boréale; elle est de* 5130740 *toises: d'où il suit que sa dix millionième partie est de* 3 *pieds* 11 *lignes* $\frac{296}{1000}$.

Ferner pag. 675:

La toise dont il s'agit est celle qui est connue sous le nom de toise de l'Académie, et qui a servi pour la mesure des bases de l'arc terrestre au Pérou, et pour celle des bases de la méridienne de France. Cette toise est de fer, et l'on doit remarquer que les deux bases ont été mesurées lorsque la température était à 13 *degrés du thermomètre de Réaumur; d'où il est clair que le mètre doit être rapporté à la toise prise à cette température: mais on peut desirer que l'étalon ait la longueur requise, lorsque le thermomètre marque un autre degré que* 13° *etc.*

Digitized by Google

Folgenden sind aber stets mehr Stellen berechnet, da im günstigsten Falle eine weitere Stelle genau werden kann, und auch mehr in der angehängten Tabelle aufgeführt, weil es mir zweckmäfsiger schien, Jedem zu überlassen die für ihn überflüssigen zu streichen, als diefs selbst zu thun.

Die Länge des preufsischen Fufses von 139,13 pariser Linien gilt aber nur für seine Normaltemperatur von 16°,25 C. und das Meter ist nur für 0° C. gleich 443,295936 derselben pariser Linien [1]). Beide sind von der *Toise du Pérou* abgeleitet, und zwar unter gleichen Umständen, wenn näm-

1) In den *mémoirs de l'institut national des sciences et arts, an VII T. II.* finden sich in dem *Rapport sur la mesure de la méridienne de France et les résultats qui en ont été déduits pour déterminer les bases du nouveau système métrique par Van-Swinden* folgende bezügliche Stellen, welche ich hiermit wörtlich wiedergebe. Es heifst p. 73 u. 74:

Nous avons dit que le mètre, la dix-millionième partie du quart du méridien, est de 443,296 *lignes de la toise du Pérou. La loi du* 18 *germinal an* 3 *fixe la matière dont ce mètre étalon doit être fait. »Ce sera, dit l'article II, une règle de platine sur laquelle sera tracé le mètre.« L'article III nomme cet étalon, l'étalon prototype. Mais ce métal, comme tous les autres corps, éprouve des variations de longueur par celles de température: ainsi un mètre fait de platine ne saurait avoir dans tous les temps la longueur du mètre idéal, comme aussi des mètres faits de différens métaux ne sauraient être égaux entre eux à toutes les températures; il n'en est qu'une à laquelle ils le sont et peuvent l'être. Ces différences tiennent à la nature méme des choses, et sont hors de la puissance de l'homme; ce qui lui reste, c'est la faculté de tout réduire à un terme constant et invariable. Ce terme dépend ici du degré de température qu'on choisira, pour donner exactement au mètre de platine la longueur de la dix-millionième du quart du méridien terrestre déterminée ci-dessus, et au degré de température auquel tous les mètres, de quelque matière qu'ils soient faits, seront exactement égaux entre eux et à celui-ci. La commission, en suivant l'ésprit du système métrique proposé par l'académie et adopté par la loi, a choisi la température de la glace fondante, ou ce que nous nommons le zéro de nos thermomètres; température constante. C'est donc à cette température que l'étalon de platine a été rendu égal à* 443 *l.* $\frac{296}{1000}$ *de la toise du Pérou, cette toise étant supposée à* $16\frac{1}{4}^{0}$, *comme il a été dit ci-dessus.*

Digitized by Google

lich diese ihre gesetzliche Temperatur von 16°,25 C. besitzt. Das oben angegebene Verhältnifs beider mufs deshalb auch bei einer Vergleichung durch diese Maafse gemessener Längen unverändert bleiben, die zur Messung gebrauchten Maafsstäbe mögen aus beliebigem Material verfertigt, und die Temperatur, bei der die Messung ausgeführt wurde, mag gewesen seyn, welche sie wolle. Für das Material der Maafsstäbe und die von der gesetzlichen etwa verschiedene Temperatur sind bei einer wirklichen Messung natürlich Correctionen nothwendig, wozu die Ausdehnungscoëfficienten der für die Maafsstäbe verwendeten Metalle, und zwar, wo es auf Genauigkeit ankommt, die der Maafsstäbe selbst, so wie die über die normale Temperatur der Maafsstäbe gegebenen Gesetze bekannt seyn müssen; sobald diese Correctionen aber ausgeführt sind, mufs sich das obige Verhältnifs ergeben.

Durch Reduction verschiedener Maafsstäbe z. B. eines Meter- und eines preufsischen Fufsmaafses auf gleiche Temperatur, und Vergleichung dieser Längen, kann sich aber, selbst unter der Voraussetzung, dafs beide Maafsstäbe aus gleichem Materiale bestehen, niemals das richtige Verhältnifs der durch sie dargestellten Maafse ergeben. Die Vergleichung der Maafse mufs unabhängig von dem Material der sie repräsentirenden Maafstäbe vorgenommen werden, und ohne dafs man der Normaltemperatur einen Einfluſs dabei gestattet, wenn, wie hier, das Verhältnifs beider zu einem dritten bekannt ist. Wollte man, wie es in Gehler's neuem physikalischen Wörterbuche Art. »Maafs« geschehen ist, das Verhältnifs des preufsischen Fufses zum Meter durch Vergleichung der auf gleiche Temperatur reducirten, betreffenden Normalmaafsstäbe bestimmen, so können dafür mit gleichem Recht zwei Wege eingeschlagen werden. Entweder das Meter wird auf 16°,25 C. gebracht, und bei dieser Temperatur mit dem preufsischen Fufse, der bei 16°,25 C. seine normale Länge hat, verglichen, oder der preufsische Fufs wird auf 0° reducirt, und dann sein Verhältnifs zum Meter bestimmt. Beide Methoden geben

Digitized by Google

verschiedene Werthe, da beide Normalmaafsstäbe aus verschiedenem Material bestehen.

Bei Vergleichungen des Meters mit anderen Maafsstäben gebraucht man in Frankreich den von Borda für Platin bestimmten Ausdehnungscoëfficienten, welcher für 1° C. 0,00000856 beträgt [1]).

Das Meter von 16°,25 C. würde sich also zum Meter von 0° verhalten wie

$$1+(0{,}00000856 . 16{,}25):1=1{,}00013910:1$$

oder wie

$$443''',3575984647:443''',295936$$

und das Meter von 16°,25 C. zum preufsischen Fufse von 16°,25 C. wie

$$443''',3575984647:139''',13=3{,}18664269:1.$$

Nach Bessel's ebenso sorgfältigen wie genauen Untersuchungen [2]) beträgt die Ausdehnung des preufsischen 3 Fufs

1) In der *Base du système métrique décimal etc. par M. M. Méchain et Delambre. Paris* 1810. *T. III p.* 440 sind von Van-Swinden die für die Vergleichung des Meters mit Maafsstäben von anderem Material gebräuchlichen Ausdehnungs-Coëfficienten angegeben wie folgt:

für 1° C. dehnt sich das Platin aus nach Borda um 0,00000856
» » » Messing » » » 0,00001783
das Schmiedeeisen im Mittel nach
Berthoud und Smeaton um 0,00001156
und die Verschiedenheit der Ausdehnung für 1° C. ist
zwischen Eisen und Platin = 0,00000300
zwischen Messing und Platin = 0,00000924
zwischen Messing und Eisen = 0,00000625

2) Darstellung der Untersuchungen und Maafsregeln, welche in den Jahren 1835 bis 1838 durch die Einheit des preufsischen Längenmaafses veranlafst worden sind, von F. W. Bessel. Berlin 1839. 4to. p. 41. Dieses preufs. Normalmaafs, welches Bessel zum Unterschiede von dem früher angefertigten eisernen, das neue Original des preufsischen Längenmaafses nennt, ist ein Stab von Huntsman'schem Gufsstahl, und hat die Länge von sehr nahe drei preufsischen Fufsen; seine Durchschnitte sind Quadrate von 9 Linien Seite. In seine Enden sind abgekürzte Kegel von Sapphir eingelassen, deren gröfsere Endflächen sich in dem Inneren des Stabes befinden, während die kleineren über die Endflächen

Digitized by Google

3 Fufs langen Normalmaafses von Gufsstahl, welches bei 16°,25 C. seine gesetzliche Länge hat, für jeden Grad der hunderttheiligen Scala 0,00001013 seiner Länge oder 0,004375 preufsische Linien [1]).

Hiernach verhält sich die Länge des preufsischen Normalmaafses von 16°,25 C. zu der bei 0° C. wie

$$1:1-(0{,}00001013.16{,}25)=1:0{,}9998353875$$
$$=144'''\,:143'''{,}97629580.$$

Gebraucht man den von Bessel gegebenen Ausdruck in Linien, so giebt dieser die Länge bei 0° zu 143‴,97630208 preufsischen Linien. Die Differenz rührt daher, dafs die für die Einheit angegebene Ausdehnung des Maafsstabes genau gleich ist 0,00437616 Linien, anstatt der in der oben angeführten Abhandlung = 0,004375 Linien gesetzten.

Da nun 144 preufsische Linien gleich sind 139,13 pariser Linien, und sich der preufsische Fufs von 16°,25 zum preufsischen Fufs von 0° wie 1:0,9998353875 verhält, so ist der preufsische Normalfufs von Gufsstahl bei 0°

$139'''{,}13\,.\,0{,}9998353875 = 139'''{,}1070975$ pariser Linien bei 16°,25 C., also

$$\frac{443{,}295936}{139{,}1070975} = 3{,}186724071$$ preufs. Fufs gleich 1 Meter.

Gegen diese Vergleichungen läfst sich einwenden, dafs das für die erstere untergelegte Meter nicht das gesetzlich bestimmte Meter ist, denn diefs hat nur bei 0° seine wahre Länge, und ganz dasselbe gilt für die zweite, denn der auf 0° reducirte preufsische Fufs ist nicht der normale, sondern kürzer. Es würde nur unter den Umständen dieses für ihn gefundene Verhältnifs zum Meter gelten können, wenn letzteres genau von solchem Stahl, das denselben Ausdehnungscoëfficienten besitzt wie das preufsische

des Stahls ein wenig hervorragen, und durch ihre Entfernung, in der Axe des Stabes gemessen, sein Maafs angeben. Unter der Axe des Stabes versteht Bessel die gerade Linie, welche die Durchschnittspunkte der Diagonalen seiner beiden Endflächen mit einander verbindet.

1) pag. 54—68 in dem kurz vorher citirten Werke.

Digitized by Google

Normalmaafs, verfertigt wäre; dann würde aber bei der Temperatur von 16°,25 C., bei welcher der preufsische Fufs seine rechte Länge hat, das Meter zu lang seyn.

Geht man auf die uranfängliche Bestimmung des Meters zurück, so ist seine Länge gleich dem zehnmillionsten Theil eines Erd-Meridianquadranten, bestimmt auf der eisernen *Toise du Pérou* bei ihrer wahren Temperatur von 16°,25 C., und zwar zu 443,296 Linien derselben. Statt dieser Zahl, welche sich in Bruchtheilen der Toise nicht völlig genau wiedergeben läfst, nimmt man bei Vergleichungen gewöhnlich die richtigere = 443,295936 Linien = 0,5130740 Toisen. Dafs man nun das Normalmeter aus Platin verfertigte, und die Temperatur, bei der es nur als Meter gelten sollte, auf 0° festsetzte, mufs als von jener Bestimmung unabhängig betrachtet werden. Dann ist aber das Verhältnifs des preufsischen Fufses zum Meter durch die obige Bestimmung vollkommen genau gegeben, denn indem das Gesetz vom 16. Mai 1816 die Länge des preufsischen Fufses zu 139,13 Linien der *Toise du Pérou*, wenn diese ihre Normaltemperatur von 16°,25 C. = 13° R. besitzt, feststellt, so folgt daraus unmittelbar, dafs sich der preufsische Fufs zum Meter verhält wie 139,13 : 443,295936, welche Zahlen meinen Berechnungen zum Grunde liegen.

Doch auch aus einer Vergleichung der Maafsstäbe bei gleicher Temperatur erhält man dasselbe Resultat, wenn dabei, wie es nothwendig ist, die gesetzlichen Bestimmungen über ihre wahre Länge berücksichtigt werden. Das Verhältnifs des Normalmeters zum preufsischen Normalfufs, wenn beide die Temperatur von 0° haben, ist gleich 3,186724071 : 1. Der preufsische Fufs von 0° ist aber kürzer als er der Vorschrift nach seyn soll, und zwar verhält sich seine Länge bei dieser Temperatur zu der, in der er gesetzlich als preufsischer Fufs gilt, nach dem vorher Angeführten, wie 0,9998353875 : 1. Das obige Verhältnifs zum Meter ist also zu grofs, und mufs kleiner werden indem der Fufs länger wird, oder sich von 0° C. bis 16°,25 C.

Digitized by Google

ausdehnt. Dadurch hebt sich aber natürlich die frühere Reduction auf, und es ergiebt sich die Länge des preufsischen Fufses zu der des Meters wie

1:3,186724071 . 0,9998353875 = 1:3,186199496.

Das englische Maafs und Gewicht ist durch die Parlamentsacte vom 17. Juni 1824 genau bestimmt. Als Einheit für das Maafs gilt die Länge des im Hause der Gemeinen aufbewahrten messingenen, von Bird 1760 verfertigten *Imperial-Standard Yard* bei 62° F. (16° $\frac{2}{3}$ C.). Der dritte Theil desselben macht einen Fufs (*Foot*) aus, welcher wiederum in 12 Zoll (*Inch*) getheilt wird.

Die Länge des *Yard* ist mit der Länge des einfachen Sekundenpendels für die Breite von London (51° 31′ 8″,4), welche auf den leeren Raum und auf das Meeresniveau reducirt ist, verglichen, und dadurch so bestimmt, dafs der *Yard* 36 solcher Zoll bei einer Temperatur von 62° F. enthält, deren das Pendel bei derselben Temperatur 39″,1393 Zoll mifst [1]).

Dabei hat man indefs angenommen, dafs das für die Messungen der Pendellänge vom Kapt. Kater gebrauchte sogenannte Shuckburgh'sche Maafs gleich grofs sey mit dem Bird'schen. Die Vergleichung beider mit dem Meter, welche Kapt. Kater ebenfalls anstellte, hat aber gezeigt, dafs

39″,37079 des Shuckburgh'schen Maafses gleich sind
39″,37062 des Bird'schen, gesetzmäfsigen Etalons,

1) Für den preufsischen Staat ist die durch das Gesetz bestimmte Vergleichung der Länge des Fufses mit der des einfachen Sekundenpendels für Berlin durch Bessel ebenfalls angestellt worden. Diese Bestimmung unterscheidet sich aber in so fern von der englischen, als die Pendellänge für Berlin unter 52° 30′ 16″ nördl. Breite ohne Reduction auf die Oberfläche des Meeres zu 456‴,1626 preufs. Linien dabei zum Grunde gelegt ist. Das Verhältnifs des preufs. Fufses zur Pendellänge ist hiernach wie 144‴ : 456‴,1626, und wird mit der von Bessel ausgeführten Reduction für das Niveau der Ostsee wie 144‴ : 456‴,1663. Darstellung der Untersuchungen etc. über die Einheit des preufs. Längenmaafses v. F. W. Bessel pag. 95.

Digitized by Google

und dafs das Meter von 0° gleich ist 39",37062 Zoll von Bird's *parliamentary Standard Yard* bei 62° F. [1]).

Ich habe deshalb für die nachfolgenden Bestimmungen die letztere Angabe gebraucht, und die Differenz vernachlässigt, welche daraus hervorgeht, dafs das Meter anstatt zu 443‴,296 zu 443‴,295936 Linien angenommen ist.

Bei der Bestimmung der Gewichtseinheit hat man überall, und gewifs mit Recht, als passendsten Körper für die Ausfüllung eines gewissen Raumes das Wasser gewählt, welches am leichtesten von immer gleicher Reinheit erhalten werden kann. Weiter findet aber für die darüber geltenden Gesetze in Preufsen, Frankreich und England keine Uebereinstimmung statt. Dafs das als Einheit in jedem Staate geltende Längenmaafs auch hier für das Raummaafs beibehalten ist, scheint ganz natürlich, aber aufserdem weichen noch alle Bestimmungen in sofern von einander ab, als die Temperatur des Wassers, bei welcher ein gewisses Raummaafs desselben die Einheit des Gewichtes ausmacht, in allen Ländern verschieden ist.

Ob hier eine Temperatur vor der anderen den Vorzug verdiene, läfst sich schwer entscheiden. Die des schmelzenden Eises, die seiner gröfsten Dichtigkeit oder irgend eine höhere sind unter Umständen alle gleich schwer so lange constant zu erhalten als die Versuche es erfordern. Man wird überall Correctionen anbringen müssen, die, wenn die Ausdehung des Wassers hinreichend genau ermittelt ist, keinen erheblichen Fehler für das Endresultat ergeben werden, und da man gewöhnlich mit Wasser nicht wägt, so wird die Temperatur desselben aufserdem nur für die Bestimmung der Gewichtseinheit von Bedeutung seyn.

Zweckmäfsig erscheint es aber gewifs, wenigstens die Temperatur für das Wasser anzunehmen, bei welcher zugleich die Maafseinheit ihre gesetzliche Länge hat. Eine solche Uebereinstimmung zwischen Maafs und Gewicht fin-

1) *On the length of the French Mètre estimated in parts of the English standard. By Capt. Henry Kater. Philosophic. Transact.* 1818 *part.* I. *p.* 103.

Digitized by Google

det jedoch nur in England statt, doch werden hier wieder in anderer Beziehung Correctionen verlangt, da das Gewicht des Wassers nicht unabhängig von der als Gegengewicht zu gebrauchenden Substanz gemacht ist, eine Anforderung, die für gesetzliche Bestimmungen gewifs verlangt werden mufs, wenn das Gewicht zugleich für wissenschaftliche Untersuchungen in Anwendung kommen soll.

Aus diesem Grunde ist denn auch die Vergleichung der englischen Gewichte mit den preufsischen und französischen nur für den leeren Raum vorgenommen, was zu gleicher Zeit frei von Voraussetzungen geschehen konnte, da die Commission zur Bestimmung der Maafse und Gewichte für England, die dazu nöthigen Ermittelungen selbst gemacht hat, wie sie weiter unten mitgetheilt sind.

Mehr wie sieben oder höchstens acht Stellen werden aber bei den nachfolgenden Angaben über die Verhältnisse der verschiedenen Gewichte, schon wegen der nicht weiter reichenden Genauigkeit der Dichtigkeitsbestimmungen des Wassers, nicht brauchbar seyn, doch reichen diese, der Vollkommenheit unserer Waagen gegenüber, auch aus.

Die preufs. Maafs- und Gewichtsordnung vom 16. Mai 1816 setzt fest, dafs ein preufsisches Pfund dem sechs und sechszigsten Theile von dem Gewichte eines preufsischen Kubikfufses destillirten Wassers im luftleeren Raume bei 15° R.=18°,75 C. gleich sey.

Ein preufsisches Pfund ist gleich 32 Loth oder 16 Unzen, 1 Loth gleich 4 Quentchen oder Drachmen, und eine Drachme gleich 60 Gran. Ein preufsisches Quart enthält 64 Kubikzoll.

Nach den französischen Bestimmungen wiegt 1 Kubikdecimeter des dichtesten Wassers [1]) im luftleeren Raume

1) In dem oben citirten Werke des Hrn. Regnault ist die Temperatur der gröfsten Dichtigkeit des Wassers zu 4° C. angenommen. Die vorher angeführten Bestimmungen des Hrn. Hällström ergeben jedoch die gröfste Dichtigkeit desselben bei 3°,9 C., und da die Differenz von 0°,1 C. zwischen beiden Temperaturen erst in der achten Decimalstelle einen Unterschied in dem specifischen Gewichte des Wassers hervorbringt, so habe ich ohne Bedenken die Angaben des letzteren beibehalten.

Digitized by Google

1 Kilogramm = 1000 Grammen, und der Raum, den dieses Wasser einnimmt, ist zugleich unter der Benennung Litre die Einheit der Raummaafse.

In England ist in Bezug auf die Gewichte durch die Parlamentsacte vom 17. Juni 1824 bestimmt [1]), dafs das messingene im Hause der Gemeinen aufbewahrte *Imperial Standard Troy Pound* das gesetzliche Gewicht sey, von dem alle übrigen abgeleitet werden sollen.

Der zwölfte Theil dieses *Troy*-Pfundes ist 1 Unze (*Ounce*), der zwanzigste Theil einer Unze 1 *Pennyweight*, und der vier und zwanzigste Theil eines *Pennyweight* 1 *Grain*, deren 5760 ein *Troy*-Pfund, und 7000 ein Pfund *Avoirdupois* ausmachen.

Der sechszehnte Theil des letzteren ist 1 Unze *Avoirdupois*, welche 16 *Drams* enthält.

Ein englischer Kubikzoll destillirten Wassers wiegt in der Luft mit Messinggewichten bei 62° F. = 16°,$\frac{2}{3}$ C. und 30 Zoll Barometerstand 252^{g},458 *Grains*. Für den luftleeren Raum ist das Gewicht eines englischen Kubikzolles destillirten Wassers bei einer Temperatur von 62° F. durch die für die Bestimmung der Maafse und Gewichte niedergesetzte Commission zu 252^{g},722 *Grains* gefunden [2]).

Für die Hohlmaafse gilt als Einheit der *Imperial Standard Gallon*, welcher 10 Pfund *Avoirdupois* destillirtes Wasser in der Luft bei 62° F. und 30 Zoll Barometerstand enthalten soll. 1 *Gallon* ist gleich 4 Quart.

Nach diesen Bestimmungen ergiebt sich nun das Gewicht eines preufsischen Pfundes in Grammen auf folgende Weise:

Da das Meter bei 0° 443‴,295936 solcher Linien enthält, wie der preufsische Fufs bei 16°,25 C. 139‴,13 Linien,

1) *Philosophical Transactions* 1826. *Part II. pag.* 1.

2) *Third Report of the Commissioners appointed by His Majesty to consider the Subject of Weights and Measures. Thomson's Annals of Philosophy. New series. July to Decbr.* 1821. *Vol. II. p.* 152. — *Journal of science, literature and the arts.* 1821. *No. XXII p.* 378.

Digitized by Google

so ist ein preufs. Fufs = 0,31385354274937454 Meter und ein preufs. Kubikfufs = 0,0309158439052 Kubikmeter.

Ein Kubikmeter enthält 1000000 Grammen des dichtesten Wassers, also ein preufs. Kubikfufs 30915^{gr},8439052 Grammen, und ein preufsischer Kubikzoll

$$= \frac{30915{,}8439052}{1728} = 17^{gr},891113371 \text{ Grammen.}$$

Mit der von Hällström angegebenen, berichtigten Formel findet man die Dichtigkeit des Wassers, wenn sie bei 0° = 1 gesetzt wird, bei 3°,9 C. = 1,00011169 und

bei 18°,75 C. = 0,99865480,

wenn sie bei 3°,9 C. = 1 gesetzt wird,

bei 18°,75 C. = 0,99854327

und daraus folgt das Gewicht eines preufsischen Kubikzolls destillirten Wassers, welches bei 3°,9 C. 17^{gr},891113371 Grm. beträgt, bei 18°,75 C.

= 17,891113371 . 0,99854327 = 17^{gr},8650508494 Grammen.

Das Gewicht von 1 Kubikzoll destillirten Wassers von 18,°75 C. ist aber genau gleich $\frac{11}{288}$ preufs. Pfund, und daher

1 preufs. Pfund	= 17^{gr},86505085 . $\frac{288}{11}$	= 467^{gr},739513164	Grm
1 preufs. Loth	=	14 ,616659786	Grm.
1 preufs. Gran	=	0 ,060903582	Grm.
1 Gramm	=	0 ,0684141474	preufs. Loth
1 Gramm	=	16 ,419395377	preufs. Gran
1 Kilogramm	=	2 ,137942106	preufs. Pfund
1 Meter	=	3 ,1861994968	preufs. Fufs.

Das Verhältnifs des preufsischen und englischen Maafses läfst sich auf folgende Weise bestimmen:

1 Meter bei 0°	= 39″,37062	engl. Zolle bei 62° F. = 16° $\frac{2}{3}$ C.
1 Meter bei 0°	= 38″,2343939624808	preufs. Zolle bei 16° $\frac{1}{4}$ C.
1 engl. Zoll	= 0″,971140255411	preufs. Zoll
1 engl. Kubikzoll	= 0″,915895383962	preufs. Kubikzoll.

Da nun ein preufs. Kubikzoll destillirtes Wasser von 15° R. = 18° $\frac{3}{4}$ C. im luftleeren Raume 1$\frac{2}{9}$ preufs. Loth wiegt, und sich das specifische Gewicht des Wassers von

Digitized by Google

$18^\circ \frac{3}{4}$ C. zu dem von $16^\circ \frac{2}{3}$ C. verhält wie

$$0{,}99865480 : 0{,}99902299 \text{ oder wie}$$
$$1 : 1{,}00036869,$$

so wird das Gewicht eines preufs. Kubikzolles Wasser von $16^\circ \frac{2}{3}$ C.

$$\frac{11}{9} \cdot 1{,}00036869 = 1{,}22267284 \text{ preufs. Loth,}$$

und das eines engl. Kubikzolles Wasser von $16^\circ \frac{2}{3}$ C.

$$0{,}915895383962 \cdot 1{,}22267284 = 1{,}119840410 \text{ preufs. Loth,}$$

welche nach den Ermittelungen der für die Bestimmung der Maafse und Gewichte niedergesetzten englischen Commission gleich sind

$$252^{g},722 \text{ englischen Grän;}$$

also ein engl. Grän gleich

$$\frac{1{,}119840410251708}{257{,}722} = 0{,}004431115653 \text{ preufs. Loth,}$$

und ein engl. Grän gleich

$$14{,}616859786 \text{ Grm. } 0{,}004431115653 = 0{,}064768996195 \text{ Grm.}$$

Daraus ergiebt sich

1 Pfd. *Troy* = 5760 Grän = 25,523226161280 preufs. Lth.
= 373,0694180832 Grammen.

1 Pfd *Avoirdupois* = 7000 Grän = 31,017809571 pr. Lth.
= 453,382973365 Grm.

Der leichtern Uebersicht halber sind die hauptsächlichsten Verhältnisse der Maafse und Gewichte in dieser Tabelle zusammengestellt.

1 Meter	0,5130740 Toisen
	443,295936 pariser Linien
	39,37062 englische Zoll
	38,234394 preufs. Zoll
	36,941328 pariser Zoll
1 pariser Fufs	1,03500323 preufs. Fufs
	1,06576082 englische Fufs
	0,32483943 Meter
1 preufs. Fufs	0,96618056 pariser Fufs
	1,02971738 englische Fufs
	0,31385354 Meter
1 englischer Fufs	0,93829683 pariser Fufs
	0,97114025 preufs. Fufs
	0,30479581 Meter.

Digitized by Google

1 Kilogramm	2,137942106 preufs. Pfund
	2,680466293 Troy Pfund
	2,205640835 Avoirdupois Pfund
1 Gramm	0,0684141474 preufs. Loth
	16,419395377 preufs. Gran
	15,4394858458 engl. Grains.
1 preufs. Pfund	467,739513164 Grammen
	1,253759999 Troy Pfund
	1,0316653704 Avoirdupois Pfund
1 preufs. Loth	14,616859786 Grammen
	225,676799774 englische Grains
1 preufs. Gran	0,0609035824 Grammen
	0,940319999 engl. Grains.
1 Troy Pfund	373,069418083 Grammen
	25,5232261613 preufs. Loth
1 Troy Unze	31,0891181736 Grammen
	2,1269355134 preufs. Loth
1 Grain	0,0647689962 Grammen
	1,0634677567 preufs. Gran.
1 Pfund Avoirdupois	453,382973365 Grammen
	31,017809571 preufs. Loth
1 Unze Avoirdupois	28,336435835 Grammen
	1,938613098 preufs. Loth.
1 Liter	55,893670744 preufs. Kubikzoll
	0,873338605 preufs. Quart.

Das Gewichtsverhältnifs zwischen Luft und Wasser ist für Paris, wenn das Gewicht eines Liters trockner Luft bei 0° und 760^{mm} Barometerstand zu 1^{gr},293204 angenommen wird,
zwischen Luft von 0° und Wasser von 3°,9 C.

$$= 1 : \frac{1000}{1,293204} = 1 : 773,27320$$

zwischen Luft von 0° und Wasser von 0° C.

$$= 1 : \frac{999,888322}{1,293204} = 1 : 773,18684.$$

Für Berlin, wo ein Liter Luft von 0° unter 760^{mm} Druck 1^{gr},293635 Grm. wiegt, wird das Verhältnifs

Digitized by Google

zwischen Luft von 0° und Wasser von 3°,9 C.

$$= 1 : \frac{1000}{1,293635} = 1 : 773,01557$$

zwischen Luft von 0° und Wasser von 0° C.

$$= 1 : \frac{999,888322}{1,293635} = 1 : 772,92921.$$

Ein preufsischer Kubikzoll ist gleich 17,891113371 Kubikcentimetern, daraus ergiebt sich

$$1 \text{ Liter} = \frac{1000}{17,891113371} = 55,8936707438 \text{ Kubikzoll}$$

$$1 \text{ Liter} = \frac{55,8936707438}{64} = 0,87333860537 \text{ preufs. Quart.}$$

Das Gewicht eines Liters trockner Luft in Berlin bei 0° und 760^{mm} Barometerstand ist genau gleich 1^{gr},2936348 Grammen. Es wiegt also

$$1 \text{ preufs. Kubikzoll Luft } \frac{1,2936348}{55,893671} = 0,0231445667 \text{ Grm.}$$

oder

$$16,419395377 . 0,0231445667 = 0,38001979147 \text{ preufs. Gran.}$$

Wird nun das specifische Gewicht

des Sauerstoffgases	= 1,105628
des Wasserstoffgases	= 0,069268
des Stickgases	= 0,971360
der Kohlensäure	= 1,529084

und das Gewicht eines Kubikzolles atmosphärischer Luft bei 0° und 760^{mm} Druck in Berlin = 0,38002 Gran gesetzt, so erhält man das Gewicht eines Kubikzolls

Sauerstoffgas	= 0,420161	preufs. Gran
Wasserstoffgas	= 0,026323	» »
Stickgas	= 0,369136	» »
Kohlensäure	= 0,581083	» »

Ist das Gewicht eines Liters trockner atmosphärischer Luft bei 0° und 760^{mm} Druck in Berlin = 1^{gr},293635, so wiegt unter denselben Umständen 1 Liter

Sauerstoffgas	= 1^{gr},430279
Wasserstoffgas	= 0^{gr},089608
Stickgas	= 1^{gr},256585
Kohlensäure	= 1^{gr},978077

Digitized by Google

Schliefslich komme ich noch einmal auf die oben angeführte Abhandlung des Hrn. Regnault »*détermination de la densité de gaz*« zurück.

Die bei den Gewichtsbestimmungen der Gase von Hrn. Regnault angewendete eigenthümliche Methode, welche durch eine so grofse Uebereinstimmung der einzelnen Versuche, wie sie nur irgend wünschenswerth ist, nicht allein ihre Vorzüglichkeit, sondern auch die Zuverlässigkeit der damit gemachten Bestimmungen hinlänglich verbürgt, benutzte derselbe auch, um zu prüfen, in wie weit sich die Richtigkeit des Mariotte'schen Gesetzes für die atmosphärische Luft und die Kohlensäure, und der auf anderem Wege gefundene Ausdehnungscoëfficient dieser beiden Gase durch Wägen ermitteln lassen möchte, indem er entweder das Gewicht des den Ballon füllenden Gases bei derselben Temperatur unter verschiedenem Drucke bestimmte, oder die Quantität desselben, welche bei dem Temperaturunterschiede von 0° bis 100° C. und dem jedesmaligen Drucke der Atmosphäre aus dem Ballon entwich.

Die mit der atmosphärischen Luft erhaltenen Resultate zeigen, dafs bei sorgfältiger Ausführung die Bestimmungen durch Wägen hinreichend genau sind, um die früher erhaltenen Werthe zu bestätigen. Ganz dasselbe gilt für die Versuche über den Ausdehnungscoëfficienten der Kohlensäure; aber es ergab sich, dafs bei einem schwächeren Drucke als dem der Atmosphäre die Kohlensäure bei 0° C. vom Mariotte'schen Gesetze abwich. Es wurde deshalb ein Versuch angestellt, um zu erfahren, ob das Gewicht der den Ballon füllenden Kohlensäure bei 100° C. dem Drucke proportional sey, und aus dem erhaltenen Resultate gefolgert, dafs die Kohlensäure, wenn sie bis 100° C. erhitzt ist, unter schwächerem Drucke als dem der Atmosphäre dem Mariotte'schen Gesetze folge.

Die über diesen Versuch mitgetheilten Zahlen sind folgende:

Digitized by Google

Ballon gefüllt mit Kohlensäure in siedendem Wasser

$P = 5^{gr},901 \quad H_0 = 760^{mm},34$

$T = 100°,01$

Ballon in siedendem Wasser, gefüllt mit Kohlensäure unter einem Drucke . . . . . $F_0 = 343^{mm},08$

$P = 13^{gr},7405 \quad H_0 = 757^{mm},98$

$T = 99°,92$

Ballon in siedendem Wasser, gefüllt mit Kohlensäure unter einem Drucke von $4^{mm},69$

$P = 20^{gr},091 \quad H = 756^{mm},51,$

wobei $P =$ der Anzahl Grammen, welche nothwendig waren um den mit Gas gefüllten Ballon mit dem als Gegengewicht angewendeten Ballon ins Gleichgewicht zu bringen. $H_0 =$ dem corrigirten Barometerstande; $T =$ der Temperatur beim Schliefsen des Hahnes, und F_0 den Unterschied in der Höhe der Quecksilbersäule zwischen dem Manometer und dem gleichzeitig beobachteten, daneben befindlichen Barometer angiebt.

Daraus folgt das Gewicht der Kohlensäure, welche den Ballon bei 100°,01 unter dem Drucke von $755^{mm},65$ füllt $= 14^{gr},190$, also für den Druck von 760^{mm}

$$\frac{14^{gr},190 \,.\, 760}{755,65} = 14^{gr},2717.$$

Das Gewicht der Kohlensäure, welche den Ballon bei 99° 92 C., und bei einem Drucke von $338^{mm},39$ füllt, ist gefunden zu $6^{gr},3505$. Bei der Temperatur von 100°,01 C. würde dasselbe Volumen natürlich weniger gewogen haben, und zwar um so viel, als dem Ausdehnungsgesetze der Kohlensäure von 99°,92 bis zu 100°,01 entspricht.

Die Volumina der Kohlensäure bei 99°,92 C. und bei 100°,01 C. verhalten sich wie

$$1+(0{,}003688 \,.\, 99{,}92) : 1+(0{,}003688 \,.\, 100{,}01) = 1 : 1{,}0002425$$

also die Dichtigkeiten wie 1:0,9997575.

Daraus erhält man, wenn ein Volumen Kohlensäure von 99°,92 C. $= 6^{gr},3505$ wiegt, das Gewicht eines ebenso grofsen Volumens Kohlensäure von 100°,01 C.

$$= 6{,}3505 \,.\, 0{,}9997575 = 6^{gr},349.$$

Digitized by Google

Hr. Regnault hat das Gewicht unter denselben Umständen zu $6^{gr},3549$ berechnet.

Nach dem Mariotte'schen Gesetze ergiebt sich das Gewicht eines Volumens Kohlensäure, welches bei 760^{mm} Druck $14^{gr},2717$ beträgt, für einen Druck von $338^{mm},39$

$$\frac{14,2717 \cdot 338,39}{760} = 6^{gr},3545.$$

Die Differenz zwischen dem gefundenen und berechneten Gewichte ist $0^{gr},0055$, die Uebereinstimmung beider daher keineswegs so grofs, dafs sie zu der Annahme berechtigte, die Kohlensäure folge bei 100° dem Mariotte'schen Gesetze; es geht aus diesem Experiment nur hervor, dafs die Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetze bei 100° geringer sind als bei 0°.

Wegen dieser Abweichungen ist es aber unzulässig das specifische Gewicht der Kohlensäure zur Feststellung des Atomgewichts des Kohlenstoffs zu benutzen, zumal uns für diesen Zweck die Analysen kohlereicher Kohlenwasserstoffe so genaue Resultate geben, als sie nur irgend verlangt werden können.

Die Untersuchungen des Hrn. Regnault geben uns in Bezug auf Atomgewichte aber ein anderes interessantes Resultat. Es ist durch sie das specifische Gewicht des Wasserstoffgases zu 0,069268, das des Sauerstoffgases zu 1,105628 bestimmt. Versucht man daraus das Verhältnifs zu berechnen in welchem beide Wasser bilden, so erhält man

1 Maafs Wasserstoffgas	= 0,069268	= 11,135
½ Maafs Sauerstoffgas	= 0,552814	= 88,865
1 Maafs Wassergas	= 0,622082	100,000

und das Atomgewicht des Wasserstoffs ergiebt sich zu

$$\frac{0,069268 \cdot 100}{1,105628} = 6,265.$$

Durch Reduction des Kupferoxydes mit Wasserstoff hat Berzelius das Aequivalent des Wasserstoffs zu 12,48 bestimmt, und sich trotz der neueren Versuche, welche diese Zahl auf 12,50 festzustellen suchten, nicht veranlafst gefühlt, es bis dahin zu erhöhen.

Digitized by Google

Wenn man die jeder Methode, selbst bei der sorgfältigsten Ausführung, anhaftenden Fehlerquellen in Betracht zieht, so läfst sich nicht läugnen, dafs die Bestimmung des Wasserstoffaequivalents durch Reduction von Metalloxyden eher einen geringeren als einen höheren Werth für das Atomgewicht ergeben kann, da wohl ein Verlust, schwerlich aber ein Ueberschufs von Wassergas hierbei zu befürchten ist. Das specifische Gewicht von Gasarten ist hingegen, so wie die zahlreichen darüber angestellten Versuche uns jetzt vorliegen, meist höher beobachtet, als die Rechnung es erfordert, und diefs vielleicht auch noch dadurch zu erklären, dafs sich das Gas an den Wandungen der Gefäfse in einem etwas dichteren Zustande befindet. Das aus dem spec. Gewicht abgeleitete Atomgewicht wird aus diesem Grunde daher meist gröfser gefunden als nach der ersten Methode.

Beide Methoden geben also für die Bestimmung des Atomgewichts Resultate, deren Fehlerquellen nach entgegengesetzten Seiten liegen, und durch Verbinden beider erhält man als Mittel eine Zahl, welche die Annahme von 12,5 für das Aequivalent des Wasserstoffs vollkommen rechtfertigt.

Tabelle über das Volumen und das specifische Gewicht des Wassers für die Temperaturen von 0° — 30° C. berechnet nach der von Hällström abgeleiteten Formel:

$$v = 1 - 0{,}000057590\,t + 0{,}0000075611\,t^2 - 0{,}0000000351\,t^3.$$

Grade d. hundertth. Scala.	Volumen.	Specifisches Gew.	Grade d. hundertth. Scala.
0	1,00000000	1,00000000	0
1	0,99994994	1,00005006	1
2	0,99991478	1,00008523	2
3	0,99989433	1,00010568	3
3°,9	0,99988832	1,00011169	3°,9
4	0,99988837	1,00011164	4
5	0,99989669	1,00010332	5
6	0,99991908	1,00008093	6
7	0,99995532	1,00004468	7
8	1,00000522	0,99999478	8
9	1,00006855	0,99993145	9
10	1,00014511	0,99985491	10

Digitized by Google

Grade d. hundertth. Scala.	Volumen.	Specifisches Gew.	Grade d. hundertth. Scala.
11	1,00023469	0,99976537	11
12	1,00033707	0,99966304	12
13	1,00045204	0,99954816	13
14	1,00057940	0,99942094	14
15	1,00071894	0,99928158	15
16	1,00087043	0,99913033	16
$16\frac{2}{3}$	1,00097797	0,99902299	$16\frac{2}{3}$
17	1,00103368	0,99896739	17
18	1,00120847	0,99879299	18
$18\frac{1}{4}$	1,00134701	0,99865480	$18\frac{1}{4}$
19	1,00139460	0,99860734	19
20	1,00159184	0,99841069	20
21	1,00179999	0,99820324	21
22	1,00201885	0,99798522	22
23	1,00224819	0,99775685	23
24	1,00248781	0,99751836	24
25	1,00273750	0,99726997	25
26	1,00299705	0,99701191	26
27	1,00326624	0,99674439	27
28	1,00354487	0,99646765	28
29	1,00383272	0,99618191	29
30	1,00412959	0,99588739	30

II. *Beobachtungen über die Elasticität der Metalle; angestellt von A. W. Napiersky,*

Cand. philos. und Oberlehrer der mathematischen Wissenschaften am Gymnasium zu Mitau.

(Mitgetheilt vom Hrn. Academiker Kupffer in Petersburg.)

Unter allen Naturkörpern gehören die Metalle zu den über die ganze Erde verbreitetsten und nothwendigsten. Es ist daher vom gröfsten Interesse, die besonderen Eigenschaften derselben aufs genaueste zu erforschen. Eine der merkwürdigsten Eigenschaften der Metalle ist ihre verschiedene Elasticität. Ich theile im Folgenden meine Beobachtungen über die Elasticität dreier Metalldrähte, eines Eisen-, eines Messing- und eines Silberdrahts mit. Diese

Digitized by Google

experimentelle Untersuchung ist eine Wiederholung der Versuche, welche in St. Petersburg vom Academiker Staatsrath Kupffer angestellt, und deren Resultate im vorigen Jahre in einem Auszuge aus den Memoiren der Kaiserlichen Academie der Wissenschaften veröffentlicht worden sind [1]).

Wenn ein Draht an seinem oberen Ende befestigt, am unteren aber durch ein Gewicht gespannt wird, und man dreht dieses Gewicht in horizontaler Ebene um seine verticale Axe, welche mit der Axe des Drahts zusammenfällt, so beginnt eine Reihe von Schwingungen, die durch die elastische Kraft des Drahtes hervorgebracht werden, und es ist auch ohne mathematische Entwickelung leicht einzusehen, dafs die Schwingungen um so schneller vor sich gehen, je gröfser die Kraft ist, welche das Gewicht in die Gleichgewichtslage zurückzuführen sucht, wenn es daraus entfernt wird, und dafs man mithin die Dauer einer Schwingung als Maafs der elastischen Kraft des Drahts gebrauchen könne. Schon Coulomb bediente sich dieser Methode, um die Gesetze der Torsions-Elasticität zu ermitteln.

Bezeichnet man mit l die Länge des Drahts, mit t die Dauer einer Schwingung, mit k das Trägheitsmoment des angehängten Gewichtes, ist ferner g der doppelte Fallraum der ersten Sekunde und π die bekannte Zahl 3,14159 ...., so lehrt die Mechanik, dafs

$$n = \frac{\pi^2 k}{g t^2},$$

wo n die elastische Kraft des Drahtes ist, d. h. dasjenige Gewicht, welches man an einem Hebelarm $= 1$ anwenden mufs, um den Draht an einem Ende um einen der Einheit gleichen Bogen zu drehen. Als Längeneinheit ist im Folgen-

1) Siehe: *Recherches expérimentales sur l'elasticité des métaux par A. Kupffer.* (*Extrait des Mémoires de l'Académie Impériale des sciences de St. Petersbourg, sciences mathématiques T. V,*) *St. Petersbourg* 1849.

Digitized by Google

genden der Rufsische Zoll, als Gewichtseinheit das Rufsische Pfund und als Zeiteinheit die Sekunde gebraucht worden. Ist nun der Halbmesser des Drahts r und bedeutet μ die elastische Kraft eines Drahts von der Länge 1 und dem Halbmesser 1, so ist

$$\mu = n \cdot \frac{l}{r^4} \text{ und } \delta = \frac{1}{5\mu},$$

wo mit δ die Ausdehnung bezeichnet wird, welche ein Cylinder von der Länge 1 und dem Radius 1 durch die Gewichtseinheit erleidet.

Ich gehe nun zur Beschreibung des zu diesen Versuchen hergestellten Apparats über. Taf. IV. Fig. 1. stellt denselben im Ganzen dar; aa' ist ein starkes Brett, das zu beiden Seiten in die Mauer des Fensters befestigt ist; bb' ist der Metalldraht, cc' ein eiserner Cylinder von unfähr 22 Zoll Länge und $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser, welcher horizontal am unteren Ende des Drahts aufgehängt ist. Dieser Cylinder der auf Taf. IV. Fig. 2 besonders abgebildet ist, hat auf seiner Oberfläche, in einer geraden Linie parallel mit der Axe, acht kleine konische Vertiefungen, welche von der Mitte des Cylinders nach beiden Seiten gleich weit abstehen. Ihre Entfernung von einander wurde mit mikroskopischer Genauigkeit gemessen und fand sich wie folgt:

Punkt 4 bis $7 = 2e_1 =$ 7,9891
» 3 » $8 = 2e_2 =$ 11,9851
» 2 » $9 = 2e_3 =$ 15,9868
» 1 » $10 = 2e_4 =$ 19,9908.

Diese konischen Vertiefungen dienen zur Aufnahme der stählernen Spitzen der aus Bleiplatten bestehenden Gewichte P, P, von denen eins auf Taf. IV. Fig. 3 abgebildet ist. Das untere so wie auch das obere Ende des Drahts wurde eingeklemmt zwischen die beiden Hälften eines stählernen Klobens f, welche durch eine Schraube s an einander gepreſst wurden. Der Kloben f ist mit dem Spiegelhalter $ghik$ verbunden, jedoch so, dafs sich dieser mit dem Cylinder um die Axe des Drahts drehen läfst, ohne

Digitized by Google

dafs der Draht selbst eine Drehung erleidet. An den verticalen Säulen des Spiegelhalters *gk* und *hi* läfst sich der Spiegel *mn* auf und nieder bewegen. Mit dem Spiegelhalter ist der eiserne Cylinder *cc'* unveränderlich durch das Stück *l* verbunden. Der eiserne Cylinder ist bei den Schwingungen von einem runden Holzkasten *AB*, Taf. IV. Fig. 1 eingeschlossen, welcher die Luftströmungen abhalten soll und im Mittelpunkt des oberen Deckels ein Loch hat, um den Draht durchzulassen. Der Spiegel befindet sich unmittelbar über dem kreisrunden Deckel des Kastens, auf welchem ein an der innern Seite getheilter Kreis befestigt ist, dessen Mittelpunkt in die Verlängerung des Drahts fällt und dessen Theilung, durch den Spiegel reflectirt, in einem in einiger Entfernung aufgestellten Fernrohre sichtbar ist. Versetzt man nun den Draht in Schwingungen, so bewegt sich die Scale scheinbar an dem Verticalfaden des Fernrohrs vor- und rückwärts, und man kann nun die Elongationen zu beiden Seiten der Gleichgewichtslage notiren und hieraus die Amplitude der Schwingung berechnen, welche nach den Gesetzen der Spiegelung gleich ist der Hälfte der beobachteten Amplitude. Geht die Verlängerung der Axe des Drahts nicht durch den Mittelpunkt des Kreises, so ist die beobachtete Amplitude mit einem Fehler behaftet, welchen ich so viel als möglich durch genaue Centrirung zu vermeiden suchte. Die Axe des Fernrohrs wurde in eine auf dem Spiegel senkrechte und durch den Mittelpunkt des Kreises gehende Ebene gebracht. Ist nun der Draht in Ruhe, so geht der Verticalfaden des Fernrohrs durch irgend einen Strich der Theilung und es wurden nun die Vorübergänge dieses Theilstriches am Faden des Fernrohrs beobachtet, woraus auf bekannte Weise die Dauer einer Schwingung abgeleitet wurde [1]).

1) Siehe: Resultate des magnetischen Vereins S. 58, Jahrgang 1837, wo Gaufs eine Anleitung zur Bestimmung der Schwingungsdauer eines Magnetstabs giebt.

Digitized by Google

Als Beispiel führe ich folgende Beobachtung ausführlich an:

I.		II.	
$21^h\,11'\,38'',5$		$21^h\,32'\,59'',0$	
51 ,0	246,0	33 11 ,8	158,0
12 3 ,9	245,5	24 ,6	158,5
16 ,7	243,0	37 ,5	157,0
29 ,6	243,0	50 ,3	157,0
42 ,0	241,0	34 3 ,0	155,5
55 ,5	241,0	15 ,7	156,0
13 8 ,0	239,0	28 ,4	154,0
20 ,9	239,0	41 ,5	154,5
33 ,5	236,5	54 ,0	153,0
46 ,5	236,5	35 6 ,8	153,1
	234,5		151,5

III.		IV.	
$21^h\,54'\,18'',7$		$22^h\,15'\,37'',5$	
31 ,0	105,0	50 ,0	72,5
44 ,3	106,0	16 2 ,8	73,5
57 ,0	104,5	15 ,6	72,0
55 10 ,0	105,0	28 ,5	73,0
22 ,5	103,5	40 ,9	71,3
35 ,5	104,5	54 ,0	72,3
48 ,0	103,0	17 6 ,8	71,0
56 1 ,0	103,9	19 ,7	72,0
14 ,0	102,0	33 ,0	70,3
26 ,5	103,0	45 ,0	71,3
	101,1		70,0

V.	
$22^h\,36'\,55'',5$	51,1
37 8 ,0	52,2
21 ,0	51,0
33 ,5	52,0
46 ,5	50,7
59 ,0	52,0
38 12 ,0	50,2
24 ,6	51,5
37 ,5	50,0
50 ,0	51,0
39 3 ,0	49,8

Diese Beobachtungen bestehen aus 4 Sätzen; in jedem enthält die erste Columne die Zeiten der Vorübergänge

Digitized by Google

des Theilstrichs 0 (die Theilung des Kreises nahm vom 0 Strich nach beiden Seiten zu) am Faden des Fernrohrs, die zweite die Elongationspunkte, immer mit der Elongation beginnend, welche dem ersten Vorübergange folgte. Hieraus erhält man:

	I.			II.	
0	21h 11′ 44″,8	491,5	100	21h 33′ 5″,4	316,5
1	57 ,5	488,5	101	18 ,2	315,5
2	12 10 ,3	486,0	102	31 ,1	314,0
3	23 ,2	484,0	103	43 ,9	312,5
4	35 ,8	482,0	104	56 ,7	311,5
5	48 ,8	480,0	105	31 9 ,4	310,0
6	13 1 ,8	478,0	106	22 ,1	308,5
7	14 ,5	475,5	107	35 ,0	307,5
8	27 ,2	473,0	108	47 ,8	306,1
9	40 ,0	471,0	109	35 0 ,4	304,6

	III.			IV.	
200	21h 54′ 24″,9	211,0	300	22h 15′ 43″,8	146,0
201	37 ,7	210,5	301	56 ,4	145,5
202	50 ,7	209,5	302	16 9 ,2	145,0
203	55 3 ,5	208,5	303	22 ,1	144,3
204	16 ,3	208,0	304	34 ,7	143,6
205	29 ,0	207,5	305	47 ,5	143,3
206	41 ,8	206,9	306	17 0 ,4	143,0
207	54 ,5	205,9	307	13 ,3	142,3
208	56 7 ,5	205,0	308	26 ,4	141,6
209	20 ,3	204,1	309	39 ,0	141,3

	V.	
400	22h 37′ 1″,8	103,3
401	14 ,5	103,2
402	27 ,3	103,0
403	40 ,0	102,7
404	52 ,8	102,7
405	38 5 ,5	102,2
406	18 ,3	101,7
407	31 ,1	101,5
408	43 ,8	101,0
409	56 ,5	100,8

Digitized by Google

Hier ergeben sich in I. die Ziffern der ersten Columne von selbst; für die anderen Sätze werden sie so gefunden: aus 0 und 9 erhält man den genäherten Werth der Schwingungsdauer = 12″,80. Das Zeitintervall von 0 bis 100 beträgt 21′ 20″,6 = 1280″,6. Die Zahl durch 12,80 dividirt giebt 100. Es sind also zwischen dem ersten und zweiten Satz 100 Schwingungen verflossen. Die zweite Columne eines jeden Satzes enthält die Elongationszeiten, d. h. die Mittel aus den beobachteten Durchgangszeiten. Die dritte Columne enthält die beobachteten Amplituden.

Die Schwingungsdauer läfst sich nun genauer herleiten. Die Dauer von hundert Schwingungen findet sich aus:

0 — 100	21′ 20″,6
1 — 101	20 ,7
2 — 102	20 ,8
3 — 103	20 ,7
4 — 104	20 ,9
5 — 105	20 ,6
6 — 106	20 ,3
7 — 107	20 ,5
8 — 108	20 ,6
9 — 109	20 ,4

im Mittel 21′ 20″,61 und daher die Dauer einer Schwingung = 12″,8061. Ebenso erhält man zwischen den andern Sätzen der Schwingungsdauer: 12″,7962; 12″,7866; 12″,7788.

Um für die so eben erhaltenen Zahlen die zugehörigen Schwingungsbögen zu berechnen, gehe ich von der Hypothese aus, dafs die Schwingungsbögen von einem Satze zum anderen in geometrischer Progression abnehmen. Sie werden auf folgende Weise gefunden: die arithmetischen Mittel der beobachteten Amplituden für die fünf Sätze sind 480,95; 310,67; 207,69; 143,59; 102,21. Bildet man auf einander folgend aus je zwei dieser Zahlen die geometrischen Mittel und multiplicirt dieselben mit 0,111524 (ein Theil der Kreistheilung war = 0°,223048), so erhält man

Digitized by Google

die gesuchten Schwingungsbögen in Graden: 43°,109; 28°,329; 19°,259; 13°,511.

Wie man sieht, nimmt die Schwingungsdauer mit der Abnahme der Schwingungsbögen zugleich ab, und es bleibt nun noch übrig die Zeit einer unendlich kleinen Schwingung zu finden, d. h. den Gränzwerth, welchem sich die Dauer einer Schwingung nähert, während die Schwingungsbögen sich dem Verschwinden unendlich nähern. Kupffer hat gezeigt, dafs diese Abnahme der Quadratwurzel aus der Amplitude proportional ist, und dieses Gesetz findet auch in den folgenden Beobachtungen seine Bestätigung. Nennt man daher die auf unendlich kleine Bögen reducirte Dauer einer Schwingung t und bezeichnet mit α eine aus der Beobachtung herzuleitende Constante, so hat man zur Berechnung von t und α folgende 4 Gleichungen:

$$t + \alpha\sqrt{43{,}109} = 12{,}8061$$
$$t + \alpha\sqrt{28{,}329} = 12{,}7962$$
$$t + \alpha\sqrt{19{,}259} = 12{,}7866$$
$$t + \alpha\sqrt{13{,}511} = 12{,}7788.$$

Hieraus ergiebt sich nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$\alpha = 0{,}0094384;\ t = 12{,}7448.$$

Die Differenzen der hiermit berechneten und der beobachteten Werthe der Schwingungsdauer sind:

$$+0{,}0007;\ -0{,}0012;\ -0{,}0004;\ +0{,}0007.$$

Auf die Schwingungsdauer hat die Temperatur des Drahts einen bedeutenden Einfluſs, denn bei Zunahme der Temperatur findet auch eine Zunahme der Schwingungsdauer statt. Es wurde daher unmittelbar vor und nach jeder Beobachtungsreihe ein nahe der Mitte des Drahts angebrachtes Thermometer M abgelesen und das Mittel aus beiden Ablesungen als die der beobachteten Schwingungsdauer zugehörige Temperatur betrachtet. Ist nun t' die auf die Normaltemperatur + 13°,3 R. reducirte Schwingungsdauer und T die beobachtete Temperatur, so hat man

$$t' = t[1 - \beta(T - 13{,}3)]$$

Digitized by Google

wo β eine aus Beobachtungen bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmende Constante ist. Für den Eisendraht fand sich, wie aus den nachfolgenden Beobachtungen ersichtlich, $\beta = 0{,}0002501$ und hiermit für das angeführte Beispiel wo $T = +9°{,}3$ ist $t' = 12'',7575$.

Bei den Schwingungen hat noch der Widerstand der Luft einen Einfluss auf die Schwingungsdauer; derselbe ist wohl auf die Endresultate dieser Beobachtungen nicht bedeutend und überdiefs nicht leicht zu bestimmen. Aus diesen Gründen habe ich den Widerstand der Luft unberücksichtigt gelassen.

Zur Bestimmung des Trägheitsmomentes des eisernen Cylinders nebst der Spiegelvorrichtung habe ich das von Gaufs bei Magnetstäben angewandte Verfahren [1]) eingeschlagen. Ist nämlich k das Trägheitsmoment des eisernen Cylinders nebst der Spingelvorrichtung, p die Masse jeder der in gleichen Entfernungen von der Mitte des Cylinders angehängten gleichen Gewichte nebst ihren Bügeln, $2e$ ihre Entfernung von einander und C das Trägheitsmoment der Gewichte in Bezug auf eine verticale Axe, welche durch die Stahlspitzen und die Schwerpunkte der Gewichte gezogen wird, so hat man:

$$gnt_1'^2 = \pi^2 (k + C + 2pe_1^2)$$
$$gnt_2'^2 = \pi^2 (k + C + 2pe_2^2)$$
$$gnt_3'^2 = \pi^2 (k + C + 2pe_3^2)$$
$$gnt_4'^2 = \pi^2 (k + C + 2pe_4^2)$$

und für die Schwingungen ohne Belastung:

$$gnt'^2 = \pi^2 k.$$

Diesen Gleichungen kann man noch eine andere Gestalt geben. Setzt man nämlich $x = \frac{ng}{2p\pi^2}$ und $y = \frac{k+C}{2p}$, so erhält man:

$$\begin{aligned} xt_1'^2 &= e_1^2 + y \\ xt_2'^2 &= e_2^2 + y \\ xt_3'^2 &= e_3^2 + y \\ xt_4'^2 &= e_4^2 + y \end{aligned} \qquad (\Delta)$$

woraus sich x und y findet und sodann $k + C$ und n.

1) Siehe Gaufs, *Intensitas vis magneticae etc. p.* 20 *sqq.*

Digitized by Google

Bei der Auflösung dieser Gleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate kann hier noch folgendermafsen verfahren werden:

Man berechne erst die Werthe für x und y aus der ersten und letzten der Gleichungen (Δ); diese berechneten Werthe seyen x' und y', und setze nun $x=x'+dx$; $y=y'+dy$. Durch Differentiation der Gleichung

$$t^2=\frac{e^2+y}{x}$$

erhält man aber auch:

$$dt=\frac{y}{2tx}-\frac{(e^2+y)}{2tx^2}.dx.$$

In diese letzte Gleichung setzt man für x und y die berechneten Werthe x' und y'; die Werthe von t in ihr werden besonders aus den genäherten Werthen x' und y' berechnet; dt ist der Unterschied der beobachteten und berechneten Werthe von t, für die erste und letzte Gleichung also 0. Auf diese Weise hat man eben so viel Gleichungen als Beobachtungen und findet die Verbesserungen dx und dy.

Die Länge des Drahtes wurde mit Hülfe eines Maafsstabes von festem Holze gemessen, dessen Enden durch die beiden Hälften eines stählernen Cylinders, der nach der Länge der Axe durchschnitten war, gebildet wurden. Die Grundfläche dieses Cylinders ist sphärisch; an dem einen Ende des Maafsstabes ist der Cylinder unveränderlich befestigt, an dem anderen Ende läfst er sich durch eine Schraube an einer Theilung, die mit einem Nonius versehen ist, verschieben. Legt man nun das bewegliche Ende dieses Maafsstabes an die untere Fläche des Klobens, in welchen das obere Ende des Drahts gepreſst ist, und bewegt den untern Halbcylinder mittelst der Schraube so lange, bis seine untere Fläche die obere des Klobens, in welchen das untere Ende des Drahts eingeschraubt ist, berührt, so erhält man durch Ablesung an der Theilung die Länge des Drahts.

Der Halbmesser r des Drahts wurde nach Beendigung

Digitized by Google

der Schwingungsbeobachtungen durch Abwägung in destillirtem Wasser bestimmt, ganz auf dieselbe Weise wie dies in dem angeführten Werke *Recherches experimentales etc.* beschrieben ist und nach der daselbst angegebenen Formel berechnet, welche ich der Vollständigkeit wegen hersetze:

$$r = \sqrt{\frac{0{,}99985q + p\beta}{\gamma\pi l}}$$

wo β für Messing und Eisen $= 0{,}00015$, für Silber aber $= 0{,}00012$ ist, q das Gewicht einer dem Volumen des Drahts gleichkommenden Wassermasse, p das Gewicht des Drahts in der Luft, γ das Gewicht eines Kubikzolls Wasser bei der Temperatur, die das Wasser während der Abwägung hatte, und l die Länge des Drahts bedeutet. Zu gleicher Zeit erhält man das Gewicht eines Kubikzolls des zu untersuchenden Metalls durch den Ausdruck $p\gamma : (0{,}99985q + p\beta)$, wo γ in Pfunden ausgedrückt ist.

So fand sich für den angewandten Eisendraht: sein Gewicht in der Luft $p = 233{,}95$ Doli, $q = 30{,}18$ Doli, $l = 52{,}5929$ Zoll, woraus $r = 0{,}02228715$ Zoll, das Gewicht eines Kubikzolls Eisen $= 0{,}309310$ Pfund und daher das specifische Gewicht $= 7{,}7386$. Eine directe Messung des Radius mit einem Mikroskope gab für das eine Ende des Drahtes $r = 0{,}0219926$ Zoll.

Für den Messingdraht war $p = 459{,}8$; $q = 54{,}8$; $l = 52{,}5758$, folglich $r = 0{,}0300441$; das Gewicht eines Kubikzolls Messing $= 0{,}334635$; specifisches Gewicht $= 8{,}3722$.

Beim Silberdraht ergab die Abwägung $p = 720{,}8$; $q = 70{,}2$; $l = 52{,}6058$, woraus $r = 0{,}0339725$, Gewicht eines Kubikzolls Silber $= 0{,}410048$; spec. Gew. $= 10{,}2567$.

Ich lasse nun die Beobachtungen der Schwingungsdauer folgen:

I. Eisendraht.

No. 1. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. Länge des Draht bei $+ 13°{,}3$ R. $= 52{,}5929$. Halbmesser $= 0{,}02228715$. Entfernung der Gewichte von der Axe des Drahts $= 9{,}9954$ Zoll. Temperatur $= + 5°{,}9$ R.

Digitized by Google

Beobachtete Dauer einer Schwingung.	Schwingungsbogen.	Ber. — Beob.
26″,5154	57°,558	— 0,0007
26 ,5004	45 ,926	— 0,0010
26 ,4820	37 ,141	+ 0,0046
26 ,4786	30 ,408	— 0,0029

$\alpha = 0{,}018834$; $t = 26'',3718$.

No. 2. Dieselbe Belastung in derselben Entfernung. Temperatur $= +5°$ 6 R.

26″,4936	48°,720	+ 0,0007
26 ,4824	38 ,922	— 0,0005
26 ,4730	31 ,485	— 0,0015
26 ,4614	25 ,832	+ 0,0013

$\alpha = 0{,}016677$; $t = 26{,}3779$.

No. 3. Dieselbe Belastung in derselben Entfernung. Temperatur $= +11°{,}2$ R.

26″,5264	61°,603	+ 0,0012
26 ,5160	47 ,819	— 0,0023
26 ,5008	37 ,443	+ 0,0011
26 ,4916	29 ,530	+ 0,0002

$\alpha = 0{,}014826$; $t = 26{,}4112$

Zur Bestimmung von β hat man aus No. 1, No. 2 und No. 3 folgende Gleichungen:

$$t' = 26{,}3718\ (1 + 7{,}4\beta)$$
$$t' = 26{,}3779\ (1 + 7{,}7\beta)$$
$$t' = 26{,}4112\ (1 + 2{,}1\beta)$$

woraus $t' = 26'',4249$, $\beta = 0{,}0002501$; α im Mittel $= 0{,}01678$. Mit diesem Werthe von β und t' ergiebt sich:

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
26″,3760	26,3718	+ 0,0042
26 ,3740	26,3779	— 0,0039
26 ,4110	26,4112	— 0,0002

und man hat zur Reduction der Schwingungsdauer auf die Temperatur $13\frac{1}{3}°$ den Ausdruck

$$t' = t[1 + (T - 13{,}3).0{,}0002501].$$

Digitized by Google

No. 4. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926 Zoll von der Axe des Drahts. Temperatur $= +6°,5$ R.

16″,8896	36°,804	+ 0,0006
16 ,8842	29 ,946	— 0,0004
16 ,8790	24 ,539	— 0,0008
16 ,8724	20 ,258	+ 0,0009

$\alpha = 0{,}010813$ $t = 16″{,}8246$; $t' = 16″{,}8532$.

No. 5. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9946 Temperatur $= +10°,5$ R.

12″,4860	51°,084	+ 0,0006
12 ,4818	41 ,218	— 0,0001
12 ,4798	33 ,650	— 0,0023
12 ,4724	27 ,722	+ 0,0015

$\alpha = 0{,}006731$; $t = 12″{,}4385$; $t' = 12″{,}4472$.

No. 6. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite, in der Entfernung 3,9946 Zoll von der Axe des Drahts. Temperatur $= +11°,6$ R.

9″,9096	46°,935	— 0,0001
9 ,9054	37 ,656	+ 0,0002
9 ,9030	30 ,585	— 0,0006
9 ,8986	25 ,124	+ 0,0010
9 ,8968	20 ,849	+ 0,0004
9 ,8958	17 ,465	— 0,0007

$\alpha = 0{,}005367$; $t = 9″{,}8727$; $t' = 9″{,}8769$.

No. 7. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926 Temperatur $= +9°$ 3 R.

12″,8061	43°,109	+ 0,0007
12 ,7962	28 ,329	— 0,0012
12 ,7866	19 ,259	— 0,0004
12 ,7788	13 ,511	+ 0,0007

$\alpha = 0{,}0094384$; $t = 12″{,}7448$; $t' = 12″{,}7575$.

No. 8. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934. Temperatur $= +12°,1$ R.

16″,0266	52°,806	— 0,0003
16 ,0102	33 ,520	+ 0,0006
15 ,9995	22 ,011	— 0,0002
15 ,9907	14 ,885	— 0,0002

$\alpha = 0{,}010480$; $t = 15″{,}9501$; $t' = 15″{,}9549$.

Digitized by Google

No. 9. Dieselbe Belastung in der Entfernung 9,9954. Temperatur = + 11°,8 R.

19″,3869	49°,778	+ 0,0002
19 ,3728	34 ,909	— 0,0009
19 ,3586	25 ,117	+ 0,0014
19 ,3513	18 ,503	— 0,0007

$\alpha = 0{,}013231$; $t = 19″{,}2937$; $t' = 19″{,}3009$.

No. 10. Schwingungen ohne Belastung. Temperatur = + 13°,3 R.

6″,1757	19°,721	+ 0,0004
6 ,1728	13 ,291	— 0,0007
6 ,1694	9 ,274	— 0,0002
6 ,1664	6 ,636	+ 0,0004

$\alpha = 0{,}004977$; $t = 6″{,}1540$; $t' = 6″{,}1540$.

II. Messingdraht.

No. 11. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. Länge des Drahts bei + 13½° R. = 52,5758 Zoll. Radius = 0,0300441 Zoll. Entfernung der Gewichte von der Axe des Drahts = 9,9954 Zoll. Temperatur = + 15°,0 R.

Schwingungsdauer.	Amplitude.	Ber. — Beob.
21″,6148	49°,704	+ 0,0018
21 ,6088	40 ,243	— 0,0018
21 ,6006	32 ,671	— 0,0022
21 ,5888	26 ,738	+ 0,0022

$\alpha = 0{,}013584$; $t = 21″{,}5208$; $t' = 21″{,}5115$ [1]).

No. 12. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934. Temperatur = + 13°,5 R.

17″,6108	39°,912	+ 0,0018
17 ,6062	33 ,211	— 0,0007
17 ,6020	27 ,717	— 0,0029
17 ,5938	23 ,274	— 0,0003
17 ,5870	19 ,728	+ 0,0016
17 ,5840	16 ,886	+ 0,0003

$\alpha = 0{,}012806$; $t = 17″{,}5317$; $t' = 17″{,}5306$.

1) Siehe S. 367.

Digitized by Google

No. 13. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926. Temperatur = + 14° 1 R.

13″,7792	52°,490	+ 0,0014
13 ,7728	42 ,672	— 0,0005
13 ,7662	34 ,683	— 0,0012
13 ,7584	28 ,774	+ 0,0003
13 ,7574	23 ,979	— 0,0041
13 ,7446	20 ,200	+ 0,0040

$\alpha = 0{,}011654$; $t = 13''{,}6962$; $t' = 13''{,}6935$.

No. 14. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9646. Temperatur = + 15° 6 R.

10″,1730	42°,414	— 0,0004
10 ,1664	34 ,768	+ 0,0014
10 ,1638	28 ,708	— 0,0003
10 ,1602	23 ,907	— 0,0004
10 ,1580	20 ,111	— 0,0014
10 ,1544	17 ,078	— 0,0006
10 ,1498	14 ,651	+ 0,0016

$\alpha = 0{,}0079115$; $t = 10''{,}1211$; $t' = 10''{,}1152$.

No. 15. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite in der Entfernung 9,9954 Zoll. Temperatur = + 16°,0 R.

15″,7848	39°,169	+ 0,0006
15 ,7782	32 ,025	— 0,0012
15 ,7698	26 ,427	— 0,0002
15 ,7622	22 ,019	+ 0,0011
15 ,7584	18 ,548	— 0,0005
15 ,7532	15 ,823	0,0000

$\alpha = 0{,}014130$; $t = 15''{,}6970$; $t' = 15''{,}6903$.

No. 16. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934. Temperatur = + 14°,7 R.

13″,0436	47°,666	+ 0,0020
13 ,0394	38 ,616	— 0,0012
13 ,0346	31 ,515	— 0,0028
13 ,0262	25 ,985	+ 0,0001
13 ,0190	21 ,676	+ 0,0026
13 ,0180	18 ,274	— 0,0005

$\alpha = 0{,}010672$; $t = 12''{,}9719$; $t' = 12''{,}9673$.

Digitized by Google

No. 17. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926, Temperatur $= +15°,9$ R.

10″,4428	45°,800	— 0,0007
10 ,4330	37 ,080	+ 0,0025
10 ,4312	30 ,283	— 0,0013
10 ,4266	24 ,969	— 0,0016
10 ,4210	20 ,797	— 0,0002
10 ,4160	17 ,520	+ 0,0012

$\alpha = 0{,}0096462$; $t = 10″{,}3768$; $t' = 10″{,}3700$.

No. 18. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9946 Zoll. Temperatur $= +15°,2$ R.

8″,0694	40°,832	+ 0,0002
8 ,0605	26 ,755	+ 0,0003
8 ,0559	18 ,529	— 0,0015
8 ,0486	13 ,458	+ 0,0011

$\alpha = 0{,}0074293$; $t = 8″{,}0224$; $t' = 8″{,}01855$.

No. 19. Schwingungen ohne Belastung. Temperatur $= +15°,4$ R.

5″,1234	23°,894	+ 0,0002
5 ,1201	16 ,560	— 0,0007
5 ,1154	12 ,067	+ 0,0010
5 ,1145	9 ,156	— 0,0004

$\alpha = 0{,}005093$; $t = 5″{,}0987$.

No. 20. Ohne Belastung. Temperatur $= +14°,2$ R.

5″,1201	29°,928	+ 0,0004
5 ,1171	20 ,583	— 0,0005
5 ,1145	14 ,809	— 0,0009
5 ,1106	11 ,137	+ 0,0008

$\alpha = 0{,}0043218$; $t = 5″{,}0970$.

No. 21. Ohne Belastung. Temperatur $= +19°,0$R.

5″,1294	34°,588	+ 0,0001
5 ,1243	22 ,895	+ 0,0003
5 ,1218	15 ,766	— 0,0009
5 ,1177	11 ,383	+ 0,0006

$\alpha = 0{,}0044701$; $t = 5″{,}1032$.

Digitized by Google

Aus No. 19, No. 20 und No. 21 ergiebt sich $\beta =$ 0,000251586; $t' = 5'',0959$, mithin

$$t' = t[1 - (T - 13{,}3)\,0{,}000251586].$$

III. Silberdraht.

No. 22. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. Länge des Drahts = 52,6058 Zoll. Radius = 0,0339725 Zoll. Entfernung der Gewichte von der Axe des Drahts = 9,9954 Zoll. Temperatur = + 12° 8 R.

Schwingungsdauer.	Amplitude.	Ber. — Beob.
19″,6398	45°,481	0,0000
19 ,6374	40 ,484	0,0000
19 ,6318	36 ,178	+ 0,0005
19 ,6336	32 ,392	— 0,0003

$\alpha = 0{,}0061056$; $t = 19'',5986$; $t' = 19'',6007$ [1]).

No. 23. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934 Zoll. Temparatur = + 11°,4 R.

16″,0175	49°,619	0,0000
16 ,0159	40 ,874	— 0,0001
16 ,0143	33 ,675	— 0,0001
16 ,0127	27 ,667	0,0000

$\alpha = 0{,}0026864$; $t = 15'',9986$; $t' = 16'',0051$.

No. 24. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926 Zoll. Temperatur = + 12°,3 R.

12″,5194	45°,748	+ 0,0003
12 ,5190	37 ,617	— 0,0006
12 ,5170	30 ,848	+ 0,0002
12 ,5160	25 ,179	+ 0,0001.

$\alpha = 0{,}0020862$; $t = 12'',5056$; $t' = 12'',5083$.

No. 25. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9946 Zoll. Temperatur = + 12°,5 R.

9″,2452	37°,810	+ 0,0003
9 ,2449	29 ,759	— 0,0006
9 ,2429	23 ,359	+ 0,0004
9 ,2424	18 ,238	0,0000

$\alpha = 0{,}0016556$; $t = 9'',2353$; $t' = 9'',2369$.

1) Siehe S. 369.

Digitized by Google

No. 26. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite in der Entfernung 9,9954 Zoll. Temperatur $= +12°,1$ R.

14″,4493	39°,990	— 0,0001
14 ,4474	32 ,393	+ 0,0001
14 ,4461	26 ,277	— 0,0001

$\alpha = 0{,}0026771$; $t = 14″{,}4323$; $t' = 14″{,}4360$.

No. 27. Dieselbe Belastung in der Entfernung 7,9934 Zoll. Temperatur $= +9°,9$ R.

11″,9346	43°,542	— 0,0005
11 ,9311	35 ,275	+ 0,0006
11 ,9290	28 ,503	+ 0,0005
11 ,9281	22 ,963	— 0,0005

$\alpha = 0{,}0036217$; $t = 11″{,}9102$; $t' = 11″{,}9189$.

No. 28. Dieselbe Belastung in der Entfernung 5,9926 Zoll. Temperatur $= +11°,3$ R.

9″,5525	46°,422	— 0,0002
9 ,5498	35 ,710	0,0000
9 ,5471	27 ,461	+ 0,0006
9 ,5463	20 ,990	— 0,0005

$\alpha = 0{,}0028845$; $t = 9″{,}5326$; $t' = 9″{,}5367$.

No. 29. Dieselbe Belastung in der Entfernung 3,9946 Zoll. Temperatur $= +11°,4$ R.

7″,3826	35°,123	+ 0,0005
7 ,3814	24 ,655	— 0,0007
7 ,3790	17 ,194	— 0,0004
7 ,3763	12 ,029	+ 0,0006

$\alpha = 0{,}0025523$; $t = 7″{,}3680$.

No. 30. Dieselbe Belastung in derselben Entfernung. Temperatur $= +9°,7$ R.

7″,3801	34°,905	+ 0,0008
7 ,3798	24 ,791	— 0,0014
7 ,3765	17 ,597	— 0,0001
7 ,3741	12 ,561	+ 0,0005

$\alpha = 0{,}0026378$; $t = 7″{,}3653$.

Aus den beiden letzten Nummern hat man zur Bestimmung des Einflusses der Temperatur

$t' =$

Digitized by Google

$$t' = 7{,}3653(1 + 3{,}6\beta)$$
$$t' = 7{,}3680(1 + 1{,}9\beta)$$

woraus $t' = 7'',3710$; $\beta = 0{,}00021573$ und man erhält zur Reduction auf die Temperatur $13\frac{1}{2}°$ den Ausdruck

$$t' = t[1 - (T - 13{,}3)0{,}00021573].$$

Ich stelle nun die den vorhergehenden Beobachtungen entnommenen Werthe zusammen:

I. Eisendraht.

A. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. $2p = 22{,}3771$.

Schwingungs-dauer.	Entfernung der Belastung von der Axe des Drahts e.	α.
26″,4249	9,9954	0,01678
. . . . .	7,9934	. . . . .
16 ,8532	5,9926	0,010813
12 ,4472	3,9946	0,006731

Hieraus erhält man nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Anwendung der Gleichung $t^2 x = y + e^2$

$x = 0{,}154511$; $y = 7{,}97971$ und hiermit

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
26″,4244	26″,4249	— 0,0005
16 ,8542	16 ,8532	+ 0,0010
12 ,4466	12 ,4472	— 0,0006.

Setzt man nun $g = 386{,}462$ [1]), so erhält man aus $k + C = 2py$ und $n = 2p\pi^2 : g$

$$k + C = 178{,}563;\quad n = 0{,}0882992.$$

B. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite. $2p = 11{,}3203$.

1) Den Fallraum der ersten Sekunde habe ich nach dem Ausdrucke $193{,}033088 - 0{,}5006307 \cdot \cos 2b$ berechnet, wo b die Polhöhe von Mitau $= 56° 39',1$ bedeutet.

Digitized by Google

t'.	e.	α.
19″,3009	9,9954	0,013251
15 ,9549	7,9934	0,010480
12 ,7575	5,9926	0,009438
9 ,8769	3,9946	0,005367,

woraus auf dieselbe Weise:

$$x = 0{,}305295;\ y = 13{,}8114.$$

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
19″,3000	19″,3009	— 0,0009
15 ,9539	15 ,9549	— 0,0010
12 ,7619	12 ,7575	+ 0,0044
9 ,8745	9 ,8769	— 0,0024

$$k + C = 156{,}349;\ n = 0{,}0882614.$$

II. Messingdraht.

A. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. $2p = 22{,}3771$.

t'.	e.	α.
21″,5115	9,9954	0,013584
17 ,5306	7,9934	0,012806
13 ,6935	5,9926	0,011654
10 ,1152	3,9946	0,007911.

$$x = 0{,}233152;\ y = 7{,}8615.$$

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
21″,4995	21″,5115	— 0,0120
17 ,5432	17 ,5306	+ 0,0126
13 ,7019	13 ,6935	+ 0,0084
10 ,1073	10 ,1152	— 0,0079

$$k + C = 175{,}918;\ n = 0{,}133240.$$

B. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite. $2p = 11{,}3203$.

t'.	e.	α.
15″,6903	9,9954	0,014130
12 ,9673	7,9934	0,010672
10 ,3700	5,9926	0,009646
8 ,0185	3,9946	0,007429

$$x = 0{,}461554;\ y = 13{,}7198.$$

Digitized by Google

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
15″,6903	15″,6903	0,0000
12 ,9676	12 ,9673	+ 0,0003
10 ,3697	10 ,3700	— 0,0003
8 ,0185	8 ,0185	0,0000

$k + C = 155{,}3125$; $n = 0{,}133436$.

III. Silberdraht.

A. Belastung von 11,18855 Pfund auf jeder Seite. $2p = 22{,}3771$.

t'.	e.	α.
19″,6007	9,9954	0,0061056
16 ,0051	7,9934	0,0026864
12 ,5083	5,9926	0,0020862
9 ,2369	3,9946	0,0016556

$x = 0{,}280821$; $y = 8{,}01225$.

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
19″,6036	19″,6007	+ 0,0029
16 ,0018	16 ,0051	— 0,0033
12 ,5064	12 ,5083	— 0,0019
9 ,2387	9 ,2369	+ 0,0018

$k + C = 179{,}291$; $n = 0{,}160482$.

B. Belastung von 5,66015 Pfund auf jeder Seite. $2p = 11{,}3203$.

t'.	e.	α.
14″,4360	9″,9954	0,0026771
11 ,9189	7 ,9934	0,0036217
9 ,5367	5 ,9926	0,0028845
7 ,3710	3 ,9946	0,0025950

$x = 0{,}545296$; $y = 13{,}6636$.

Berechnet.	Beobachtet.	Differenz.
14″,4318	14″,4360	— 0,0042
11 ,9260	11 ,9189	+ 0,0071
9 ,5349	9 ,5367	— 0,0018
7 ,3702	7 ,3710	— 0,0008

$k + C = 154{,}676$; $n = 0{,}157646$.

Digitized by Google

Aus dem Vorhergehenden hat man nun:

Metall.	Belastung.	n.	l.	r.
Eisendraht	22,3771	0,0882992	52,5929	0,02228715.
	11,3203	0,0882614		
Messingdraht	22,3771	0,133240	52,5758	0,0300441.
	11,3203	0,133436		
Silberdraht	22,3771	0,160482	52,6058	0,0339725.
	11,3203	0,157646		

Die Längen der Drähte wurden bei der gröfsten Belastung gemessen, und bedürfen bei geringerer Belastung einer Correction $= \frac{l\delta}{r^2}$ für jedes Pfund. Leitet man daher aus Obigem einen genäherten Werth für δ her, so ergiebt sich diese Verbesserung leicht. So fand sich:

Metall.	Belastung.	Länge.
Eisendraht	22,3771	52,5929
	11,3203	52,5805
	0	52,5681
Messingdraht	22,3771	52,5758
	11,3203	52,5609
	0	52,5460
Silberdraht	22,3771	52,6058
	11,3203	52,5900.

Der Einfluſs der verschiedenen Belastung auf den Halbmesser des Drahts ist zu unbedeutend, um ihn in Rechnung zu bringen.

Nach den Formeln $\mu = n \cdot \frac{l}{r^4}$ und $\delta = \frac{1}{5\mu}$ erhält man jetzt:

Metall.	Belastung.	$\log \mu$.	δ.	Mittel.
Eisendraht	22,3771	7,274664	0,0000000106259	106294
	11,3203	7,274376	106329	
Messingdraht	22,3771	6,934382	0,0000000232621	232483
	11,3203	6,934897	232345	
Silberdraht	22,3771	6,801952	0,0000000315557	318439
	11,3203	6,794078	321321	

Digitized by Google

Aus den Mittelwerthen von δ ergiebt sich für den Eisendraht $\log\mu = 7{,}274522$, für den Messingdraht $\log\mu = 6{,}934639$. Berechnet man nun hiermit das Trägheitsmoment $k = \frac{r^4\mu t^2 g}{l\pi^2}$, wo für t die Schwingungsdauer der Beobachtungen ohne Belastung zu nehmen ist, so erhält man:

$$k = 130{,}961$$
$$k = 135{,}640.$$

Im Mittel ist $k = 133{,}301$. Mit diesem Werthe von k ergiebt sich aus den Schwingungsbeobachtungen ohne Belastung für den

Eisendraht	$\log\mu = 7{,}282214$	$\delta = 0{,}0000000104428$
Messingdraht	$\log\mu = 6{,}927084$	$\delta = 0{,}0000000236562.$

Zum Schlufs stelle ich sämmtliche Resultate wie folgt zusammen:

Metall.	Belastung.	δ.	Mittel.
Eisendraht	22,3771	0,0000000106259	105672
	11,3203	106329	
	0	104428	
Messingdraht	22,3771	0,0000000232621	233843
	11,3203	232345	
	0	236562	
Silberdraht	22,3771	0,0000000315557	318439.
	11,3203	321321	

Mitau, am 15. October 1850.

Digitized by Google

III. *Ueber die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes in Telegraphen-Drähten; von B. A. Gould, jun.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. *Americ. Journ. of Science Ser. II. Vol. XI*, wo dieser Aufsatz, von dem hier nur die Einleitung fortgelassen ist, in Form eines Berichts an Hrn. Bache gegeben wird.)

Der sinnreiche Versuch des Prof. Wheatstone i. J. 1834 schien die bis dahin allgemein herrschende Meinung von der Unermefslichkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in metallischen Leitern, verglichen mit allen übrigen uns bekannten Geschwindigkeiten, — mit Ausnahme der des Lichts, — so zu bestätigen, dafs der Glaube, wir seyen nicht fähig sie zu bestimmen, gerechtfertigt ward. Eines seiner Resultate, wie er es angab, lautete dahin, dafs die Geschwindigkeit der Elektricität in den angewandten Kupferdrähten zwar noch wahrnehmbar sey, aber die des Lichts durch den planetarischen Raum übertreffe, dafs sie nicht geringer seyn könne als 288000 engl. Meilen in der Sekunde, während das Licht in derselben Zeit ungefähr 196000 durchläuft [1]).

Die telegraphischen Beobachtungen, welche unter unmittelbarer Direction des Hrn. Walker von der Küsten-Vermessung der Vereinigten Staaten zur Bestimmung der Längenunterschiede entfernter Stationen angestellt wurden, führten zu dem unerwarteten Resultat, dafs, um volle Uebereinstimmung in die verschiedenen Beobachtungen zu bringen, eine kleine, von den relativen Abständen der Telegraphen-Stationen abhängige Berichtigung angebracht werden müsse. Für diese Erscheinung bot sich keine andere Erklärung dar als die von Hrn. Walker aufgestellte [2]) und von Hrn. Bache im März 1849 der *American Philosophical Society* mitgetheilte Hypothese, dafs die Zeit der Fortpflanzung der Signäle zwischen entlegenen Stationen viel

1) *Philosoph. Transactions* 1834 *p.* 583. (Ann. Bd. 34, S. 464.)
2) *Proceed. Americ. Phil. Soc. V. p.* 76. Astron. Nachr. XXIX. 54.

Digitized by Google

bedeutender, und folglich die Geschwindigkeit viel geringer sey als man bis dahin geglaubt habe.

Seit Hrn. Walker's Resultate veröffentlicht wurden, haben viele Astronomen und Physiker in Europa und Amerika, namentlich Mitchel, Fizeau und Steinheil, ihre Aufmerksamkeit auf den Gegenstand gerichtet. Derselbe gehört zwar mehr zum Bereich der Physik als zur Astronomie, allein seine specielle Beziehung zum Problem der Längenbestimmung und die Art, wie er sich den Astronomen zur Betrachtung aufdrängte, legen Diesen die Verpflichtung auf, ihn in volle Erwägung zu ziehen.

Als ich im verwichenen Februar in Washington war, folgte ich mit Vergnügen der Einladung des Hrn. Walker, Theil zu nehmen an einem in sehr grofsen Maafsstabe auszuführenden Versuch, mit dessen Vorbereitung er zum Behufe der Küstenvermessung lange beschäftigt gewesen, da er von demselben Resultate erwartete, welche die Streitfrage erledigen würden. Die *Seaton-Station* der Vermessung in *Washington*, nördlich vom Capitol, und die Stadt *St. Louis* wurden am 4. Februar zu Einem colossalen galvanischen Kreise verbunden, und ohne den Schaden, den ein Sturm am selbigen Tage anrichtete, wäre der Kreis selbst bis zu dem etwa 1500 engl. Meilen entfernten *Dubuque*, im Gebiete von *Iowa*, ausgedehnt worden.

Die Drähte dieser, und wie ich glaube, (mit einer einzigen Ausnahme) aller der zu Geschwindigkeits-Versuchen benutzten Telegraphenlinien sind von Eisen, von der im Handel als No. 9 bekannten Stärke, etwa drei Millimeter dick. Wir haben allen Grund zu glauben, dafs die Geschwindigkeit, mit der die Elektricität fortgeführt wird, verschieden ist nach dem Leitvermögen des Mediums [1]), und daher muthmafslich im Kupfer gröfser als im Eisen. Wheatstone benutzte bei seinem Versuche Kupferdrähte von $1^{mm},7$ Durchmesser. Nun ist das Leitvermögen des Eisens nach Lenz [2]), Riefs [3]),

1) Faraday, *Researches*, *I. p.* 423. (Ann. Bd. 47, S. 41.)
2) Pogg. Ann. Bd. XLV,, S. 109.
3) Ibid. Bd. XLV., S. 20.

Digitized by Google

und Pouillet[1]), die es durch verschiedene Methoden bestimmten, nur 0,18 von dem des Kupfers bei 0° C. Und wenn wir diesen Umstand in Erwägung ziehen, scheint der Glaube hinreichend begründet, dafs die Resultate von Walker und Wheatstone nicht unverträglich mit einander seyen, selbst abgesehen davon, dafs der Eine den galvanischen Strom, und der Andere Maschinen-Elektricität von möglich höchster Spannung anwandte.

Durch seine ersten, aus den Längen-Operationen der Küsten-Vermessung gewonnenen Resultate wurde Walker zu der Ansicht geführt, dafs in der Nacht des 23. Januar 1849 die Signäle zwischen Cambridge und Washington eine Geschwindigkeit von 18690 engl. Meilen in der Sekunde besafsen, mit einem wahrscheinlichen zufälligen Fehler von 1000 Meilen[2]).

In der Nacht des 31. October 1849 wurde eigends eine Versuchsreihe gemacht, um die zur Uebertragung der Signäle erforderliche Zeit zu bestimmen. Die Resultate davon sind im Astron. Journ. No. 7 veröffentlicht[3]), mit einer ausführlichen Nachricht von den angewandten Methoden und einer analytischen Untersuchung des Einflusses der Umstände, die auf die Genauigkeit seiner Resultate störend einwirken konnten. Die Messungen auf allen Registern gaben ihm für jene Nacht eine Geschwindigkeit von 16000 engl. Meilen in der Sekunde, nur 1900 Meilen weniger als sein erstes Resultat, welches dadurch im Allgemeinen bestätigt zu seyn schien. Das Endresultat, zu welchem er gelangte, war: dafs ein an irgend einem Punkt durch Oeffnen oder Schliefsen der galvanischen Kette gegebenes Signal an allen übrigen Punkten der Kette nach Zeiten beobachtet wurde, die dem Abstande von dem Orte der Gebung des Zeichens proportional waren und einer Geschwindigkeit von 16 bis 19000 engl. Meilen in der Sekunde entsprachen. Spätere Versuche mit dem chemischen Telegraph sind in

1) Pouillet-Müller, Lehrb. d. Phys. II. S. 186.
2) *Proceed. Americ. Phil. Soc. V. p.* 74.
3) Astron. Journ. I. p. 49.

Digitized by Google

No. 14. des Astron. Journ. beschrieben und geben eine noch geringere Geschwindigkeit [1]).

Prof. Mitchel, auf der Sternwarte zu Cincinnati, ist abweichender Meinung mit Hrn. Walker, und schreibt die von diesem erhaltenen Resultate dem Effect verschiedener Fehlerquellen und der Unsicherheit der von ihm angewandten Methoden zu. Er ersann zur Erforschung dieser Frage einen eigenen sehr sonderbaren Apparat, welchen er mit der Sinnreichheit und Handgeschicklichkeit, durch die er so ausgezeichnet ist, in der Sternwarte zu Cincinnati errichtete, und zur Ausführung einer grofsen Reihe interessanter Versuche auf der Telegraphenlinie zwischen Cincinnati und Pittsburg benutzte [2]). Prof. Mitchel ist der Meinung, dafs, nach dem durch Schliefsen und Oeffnen der galvanischen Kette ein Signal gegeben worden, eine wahrnehmbare Zeit verstreiche, ehe dasselbe irgend einer anderen Station mitgetheilt wird, und dafs sie es dann alle gleichzeitig empfangen. Daraus und aus dem Detail seiner Versuche folgert er, dafs zwei Fluida in entgegengesetzten Richtungen zwischen den Polen der Batterie circuliren, dafs aber keines derselben seinen Einflufs merkbar macht, bevor nicht jedes vollständig von Pol zu Pol circulirt habe [3]). Die Geschwindigkeit dieser Circulation setzt Prof. Mitchel auf etwa 30000 engl. Meilen in der Sekunde.

Endlich haben Fizeau und Gounelle in einem im verflossenen April veröffentlichten Aufsatz [4]) ihr Mifstrauen zu Walker's Resultaten ausgesprochen und eigene Versuche beschrieben, die mit einer Kette von 374 engl. Meilen gemacht wurden, einer Länge, die sie für ungeheuer halten, obwohl die bei den ersten Versuchen der Küsten-Messung im Januar 1849 gebrauchte Kette sich zwischen Cambridge und Washington durch 550 engl. Meilen Draht

1) Ibid. I. p. 105.
2) Ibid. I. p. 13. Astron. Nachr. XXX. p. 325. (Ann. Bd. 80, S. 161.)
3) Faraday, *Researches I. pp.* 518, 520, 521. (Ann. Bd. 48, S. 520.)
4) *Compt. rend. T. XXX. p.* 497. (Ann. Bd. 80, S. 158.)

Digitized by Google

erstreckte und in Stationen endigte, die in geodätischer Linie 380 engl. Meilen auseinander liegen. Diese Herren gebrauchten eine ganz andere Methode als Walker und Mitchel und fanden durch sie 62000 engl. Meilen in der Sekunde als Geschwindigkeit in einem 4 Mllm. dicken Eisendraht und 110000 engl. Meilen als Geschwindigkeit in einem Kupferdraht von $2^{mm},5$. Ihre Methode ist nicht unähnlich derjenigen, welche Jacobi i. J. 1838 bei Versuchen zur Bestimmung der für die Entwicklung des galvanischen Stroms erforderlichen Zeit anwandte [1]). Diese Versuche scheinen keine Data geliefert zu haben für die Frage, ob ein Signal nothwendig zu den verschiedenen Theilen der Kette in den Entfernungen proportionalen Zeiten übergeführt werde oder nicht.

Das ist, nach meinem besten Wissen, der gegenwärtige Zustand der Theorie, und, wie zu ersehen, stimmen die Ansichten in den wesentlichsten Punkten nicht überein. Noch gröfsere Meinungsverschiedenheiten herrschen bei den specielleren Fragen.

Die Versuche vom 4. Februar haben, wie mir scheint, zur Entscheidung vieler der fraglichen Punkte reichliches Material geliefert. Ich will daher ohne weitere Einleitung die Natur dieser Versuche, die Quellen und die Gröfse ihrer Fehler kurz in Betracht ziehen, obwohl diefs schon von Hrn. Walker in der erwähnten Abhandlung in sehr eleganter Weise geschehen ist [2]). Es wird dann leicht seyn, die Fragen anzugeben, auf welche eine Erörterung der Versuche zwischen Washington und St. Louis eine Antwort liefern mufs.

Bei den elektromagnetischen Telegraphen nach Morse's Einrichtung werden die Signale mitgetheilt durch die Magnetisirung eines Hufeisens von weichem Eisen, welches von einem Drahtgewinde umgeben ist. So wie der Strom das letztere durchfliefst, wird das Eisen magnetisch und zieht einen vor ihm befindlichen Anker an, der mit einem Grab-

1) Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 281.
2) Astron. Journ. I. p. 105.

Digitized by Google

stichel versehen ist. Dieser Stichel macht auf einem endlosen Papierstreifen, der unter ihm mittelst eines Uhrwerks in Bewegung gehalten wird, Eindrücke, so wie die Kette geschlossen wird, sonst nicht.

Fig. 5 Taf. IV. stellt den aufzeichnenden Apparat und seine Ajustirungen vor. *M* ist der Magnet, *A* der Anker, welcher bei Abwesenheit des Stromes durch eine Spiralfeder *S* zurückgehalten, aber angezogen wird, sobald der durch das Drahtgewinde gehende Strom das Eisen *M* magnetisch gemacht hat. Die Spannung der Feder wird durch einen Schlüssel regulirt. *H* ist die Trommel für den Papierstreifen, welcher den Eindruck aufnimmt. *N* ein Führer, um das Papier auf die Rolle *R'* zu leiten und zu drücken. Die Rolle *R''* empfängt ihre Bewegung von dem Räderwerk *W* und theilt sie dem Papierstreifen *F* mit. So wie der Anker angezogen wird, drückt der Zahn am Ende des Hebels *L* auf den Streifen und macht darin eine Furche, deren Länge, da die Bewegung gleichmäfsig geschieht, proportional ist der Dauer des Elektromagnetismus von *M*. Der Anker kommt nie mit dem Magnet in Berührung, sondern nähert sich ihm nur bis zu einer Gränze, die durch die Schraube *J* bedingt wird. Ebenso wird die Bewegung abwärts durch die Schraube *O* geregelt. Der Abstand, den der Anker von der äufseren zur inneren Hemmung durchläuft, wird technisch *Hub* (*pass*) genannt.

Da die Kette jede beliebige Anzahl von Drahtgewinden einschliefsen kann, so giebt es practisch keine Gränze für die Anzahl der intermediären Stationen; jede von ihnen empfängt die Signäle eben so gut wie die Endstation. Allein da die Stärke des Stromes, wegen unvollkommener Isolation der Drähte, mit der Entfernung von der Batterie rasch abnimmt, so wird, nach Morse's sinnreicher Einrichtung, eine örtliche Kette angewandt, welche diese Signäle besonders registrirt.

Fig. 6 Taf. IV. stellt eine Station auf der Hauptlinie vor. Die Bedeutung der Buchstaben ist dieselbe, wie in Fig. 5; der Drücker *K* regulirt die Feder. Die eine Elek-

Digitized by Google

trode der örtlichen Batterie ist mit dem Ankerstück *C*, die andere mit der metallenen inneren Hemmung *J* verbunden. Eine Anziehung des Ankers schliefst die örtliche Kette, welche zum aufzeichnenden Apparat führt; und so genügt ein sehr schwacher Strom zur Schliefsung der örtlichen Batterie, welche zu jedem erforderlichen Grad der Stärke eingerichtet werden kann.

Gesetzt nun, es werde an dem einem Ende der langen Kette durch das Pendel einer Uhr, bei jeder Oscillation, der Strom in einem Momente unterbrochen und gleich darauf wieder hergestellt, so werden wir auf den Registern der verschiedenen Stationen eine Reihe von Linien abwechselnd mit Pausen oder Lücken haben, — *Strichen* (*dots*), wie sie in der technischen Sprache der Telegraphisten heifsen, nämlich so:

Wenn die Papierstreifen durch die Maschinerie des Registrirapparats mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt werden und der Strom in dem Drahte keine Veränderung in seiner Stärke erleidet, wird jeder Strich und also auch jede Pause auf jedem Streifen gleiche Länge besitzen. Und wenn die Geschwindigkeit der Streifen auf allen Stationen gleich ist, werden die Striche, die Sekunden repräsentiren, auf allen Registern von einerlei Länge seyn. Diefs letztere steht nicht zu erwarten, ist auch in keiner Weise nöthig, denn es ist leicht, alle Register auf eine gleichförmige Scale zu reduciren. Allein es ist sehr wünschenswerth, dafs die Bewegung eines jeden einzelnen Streifens gleichförmig sey. Um eine grofse Annäherung zu solcher Gleichförmigkeit zu erlangen, ist eine weit empfindlichere und sorgfältiger costruirte Maschinerie erforderlich, als die, welche in den Telegraphenbüreaux gebraucht wird, und mit welcher die Versuche der Küsten-Vermessung gemacht wurden. Ein solcher Apparat ist erdacht und construirt worden von Hrn. Boyden zu Boston und von Hrn. Bond auf der Cambridger Sternwarte. Er bildet auch einen wesentlichen Theil der Vorrichtung des Prof. Mitchel. Indefs

Digitized by Google

da man in der That in jedem Fall nur für eine einzige Sekunde von dem Gange der Treibmaschinerie des Registrirapparats abhängt, so reducirt sich der aus dieser Quelle entspringende Fehler auf den, der aus einer Aenderung der Geschwindigkeit zwischen dem Anfang und dem Ende einer und derselben Sekunde hervorgeht. Diese ist, abgesehen von aufserordentlichen Fällen, sehr klein, und wir können annehmen, dafs alle Fehler dieser Art sich selber eliminiren, wenn wir, statt einzelner Beobachtungen, das Mittel aus mehren nehmen.

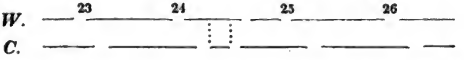
Während der Geschwindigkeitsversuche ist, an jeder Station der Telegraphenlinie, in die Drahtleitung eine Vorrichtung von der Art eingeschaltet, dafs der Strom durch Aufdrücken auf eine Taste unterbrochen werden kann, die, sobald man den Druck entfernt, durch eine Feder in ihre ursprüngliche Lage zurückgeführt wird und die Kette wieder schliefst. *G* Fig. 5 stellt eine der Tasten dar. So hat es der Telegraphist an jeder Station in seiner Macht, nach Belieben, die Kette zu unterbrechen und mit einem Male mit allen übrigen Stationen der Linie zu communiciren.

Nachdem die galvanische Batterie und die die Kette unterbrechende Uhr mit der Linie verbunden worden, haben wir an jeder Station eine Uhr-Scale, d. h. eine Reihe von Strichen, getrennt durch kurze Lücken oder Pausen, von denen jede den Anfang einer Sekunde entspricht, deren Dauer durch die Länge des gefurchten Strichs gegeben ist. In der Uhr dieser Art zu Washington ist diejenige Pause, welche dem Anfang jeder Minute entspricht, fortgelassen, und diefs setzt uns in den Stand, auf einem Papierstreifen von irgend einer Station die zu einer gegebenen Sekunde gemachte Uhrpause zu identificiren. Allein, mit welcher Geschwindigkeit die Uhrpause fortgepflanzt werde, oder, anders gesagt, welche Zeit verstreiche zwischen der Unterbrechung der Kette durch die Uhr und der Aufzeichnung der Pause auf dem Papierstreifen einer entfernten Station, das zu entdecken haben wir bisher noch kein Mittel. Denn wenn man die Register der verschiedenen

Digitized by Google

Orte vergleicht, wird man (bei Gleichheit aller übrigen Umstände) finden, dafs diese Zwischenzeit für alle Pausen gleich ist und daher bleibt sie unentdeckt.

Denken wir uns nun, dafs während die Uhr wie zuvor auf allen Registern ihre Scale graduirt, an irgend einer entfernten Station ein willkührliches Zeichen durch Unterbrechung der Kette gegeben werde. Die Vergleichung der verchiedenen Register wird uns dann in den Stand setzen, die zwischen dem Geben und Empfangen des Signals verstrichene Zeit zu registriren. Gesetzt, um die Ideen zu fixiren, die Uhr befinde sich zu Washington, das willkührliche Zeichen sey zu Cambridge gemacht, und die Zeit der Fortpflanzung des Signals von der einen Stadt zur andern betrage eine Dreifsigstelsekunde. Dann wird die Uhrpause $\frac{1}{30}$ Sekunde nachdem sie zu Washington gemacht und registrirt worden, zu Cambridge aufgezeichnet, und die Pause des willkührlichen Zeichens zu Cambridge wird daselbst, sogleich wie es gemacht ist, aufgezeichnet oder $\frac{1}{30}$ Sekunde *bevor* sie Washington erreicht. Das Intervall zwischen der Signalpause und der vorangehenden Uhrpause ist also zu Washington länger als zu Cambridge, und der Ueberschufs auf dem Washington-Register wird das Doppelte der zur Fortpflanzung des Signals zwischen beiden Städten erforderlichen Zeit messen.



Um zufällige Fehler zu vermeiden kann das Mittel aus vielen Messungen genommen werden; die Hälfte des mittleren Ueberschusses des Intervalls zwischen einer Uhrpause und der nächst folgenden Signalpause giebt dann die zur Fortpflanzung eines Signals verwandte Zeit.

Das ist die allgemeine Methode; betrachten wir nun die möglichen Fehlerquellen und deren wahrscheinlichen Einflufs. Jede Uhrpause und jede Signalpause beruht in Wirklichkeit auf einer Combination zweier Signäle, die von einander verschieden sind und verschiedenen Gesetzen

Digitized by Google

folgen. Das eine besteht aus dem *Elektrotom* oder der Oeffnung der Kette, das andere aus der Schliefsung der Kette oder der *Elektropöe*, um Hrn. Walker's Worte zu gebrauchen [1]). Die Intervalle zwischen den Signälen lassen sich als gleich betrachten entweder den Intervallen zwischen den Elektrotomen oder Anfängen der Pausen oder denen zwischen den Elektropöen oder Anfängen der Striche oder besser denen zwischen den Mitten zweier auf einander folgender Pausen. Hr. Walker hat die letztere Methode benutzt, das Mittel aus den Ablesungen der Elektrotome und Elektropöen [2]). Ich meinerseits ziehe den alleinigen Gebrauch der Elektrotome vor.

Das einzige Signal, welches in einer geschlossenen Kette gemacht werden kann, ist natürlich ein Elektrotom. Wir unterbrechen die Kette durch Aufdrücken auf die Taste. Sowie wir den Finger fortziehen, wird die Kette durch eine Feder wieder geschlossen und somit das Elektropöe-Signal gegeben. Wandern diese beiden Signale mit derselben Geschwindigkeit? Wenn sie es nicht thun, müssen die Uhrpausen an Länge zu- oder abnehmen, je nachdem sie successiv an entfernteren Stationen aufgezeichnet werden. Sie müssen sich verlängern, wenn das Elektrotom Zeichen das schneller gehende ist, und sich verkürzen im umgekehrten Fall. Diese Frage ist eine wichtige, doch mag sie einstweilen beiseit gelegt werden, da die Länge der aufgezeichneten Pause von vielen anderen Umständen abhängt, namentlich von den Ajustirungen des Registrirapparats, welche nicht nur auf den verschiedenen Stationen sehr verschieden sind, sondern sich auch auf einer und derselben Station während des Abends durch das Telegraphiren beständig verändert zu haben scheinen. Ich möchte glauben, dafs beide Arten von Signälen die Kette mit gleicher Schnelligkeit durchlaufen, oder, anders gesagt, dafs die Induction des elektrischen Zustands in den successiven Moleculen des leitenden Mediums keine gröfsere oder geringere Zeit er-

1) Astron. Journ. I. p. 51.

2) *Proceed. Americ. Phil. Soc. V. p.* 76. Astron. Nachr. XXIX. 56.

Digitized by Google

fordert als die Zurückführung derselben in den Zustand des vollen elektrischen Gleichgewichts. Um die Ansicht von dem Gegenstand besser zu befestigen, ist eine Hypothese wünschenswerth, welche alle Erscheinungen zu erklären vermag; ich habe mich daran gewöhnt, die Fortpflanzung der elektrischen Polarität durch ein Medium als hervorgehend aus einer von Theilchen zu Theilchen ausgeübten Inductivkraft zu betrachten [1]).

Betrachten wir die Telegraphendrähte als bestehend aus einer Reihe an einander liegender Elemente, so macht ein Elektrotom, welches an irgend einem Punkte stattfindet, dem Zustande der elektrischen Spannung in dem nächsten Element zu beiden Seiten ein Ende. Und ist das elektrische Gleichgewicht in diesen Elementen wieder hergestellt, giebt es keine Kraft die Störung in den folgenden zu unterhalten und so fort [2]). Aus den bekannten Gesetzen des Magnetismus läfst sich auf eine analoge Fortpflanzung einer Elektropöe oder elektrischen Störung schliefsen. Haben wir einen gekrümmten Stab von weichem Eisen, der nicht ganz einen vollen Umkreis bildet und füllen die Lücke durch ein Stück magnetisches Eisen aus, so wird der ganze Kreis magnetisch. Obwohl die Zeit zur Fortpflanzung dieser Kraft so kurz ist, dafs sie allen Versuchen zu ihrer Messung trotzt, so kann es doch keinem Zweifel unterliegen, dafs nicht zwischen der Einführung des Magnets und der Magnetisirung der entferntesten Stelle des Ringes eine Zeit von endlicher Dauer verstreicht. Ich bin gewöhnt, mir die Fortpflanzungsweise der Signäle in dieser Weise zu denken. Die Versuche von Wheatstone zeigen, dafs der elektrische Funke an Punkten, die zu beiden Seiten der Batterie gleichen Abstand von ihr haben, gleichzeitig, und in der Mitte zwischen den Polen später erscheint; das stimmt mit

1) Faraday, *Recherches I.* §. 1677 und 1700. (Ann. Ergänzband I. S. 251 und 261.)

2) Ibid. I. §§. 1671 und 1686. (Ann. Ergänzungsbd. I. S. 250 u. 255.)

Digitized by Google

mit der aufgestellten Hypothese vollkommen überein [1]). Für jetzt kann ich daher nur annehmen, dafs die Elektrotom- und Elektropöe-Signäle mit gleicher Schnelligkeit, und, in einer aus Einem Medium bestehenden Kette, in beiden Richtungen fortgepflanzt werden [2]).

So wie die Kette plötzlich geschlossen wird, läuft die elektrische Störung mit einer grofsen Schnelligkeit durch den Telegraphendraht und, bei Erreichung einer registrirenden Station, auch durch die Drahtrolle, wodurch dann das eingeschlossene Hufeisen magnetisirt, der Anker von ihm angezogen und die örtliche Kette geschlossen wird. Dieselben Erscheinungen wiederholen sich in der örtlichen Kette und der Grabstichel an dem Ankerhebel macht seine Marke auf dem Papier. Alle diese Vorgänge erfordern Zeit, und das absolute Intervall zwischen dem Elektropöe-Signal und seiner Uebertragung auf den Papierstreif ist daher bedeutend gröfser, als es vermöge der Fortpflanzungszeit des Signals längs dem Draht seyn würde. Der Unterschied besteht:

1) aus der *Inductionszeit* oder der Zeit, welche nach Herstellung des Stroms in der Drahtrolle verstreicht, bevor das Hufeisen hinlängliche Magnetkraft erlangt hat, um die Spannung der Spiralfeder zu überwältigen und den Anker zu bewegen.

2) Aus der *Hub-Zeit* oder der Zeit, welche der An-

1) Eine sehr grofse Analogie mit der galvanischen Kette liefert die Ladung und Entladung einer elektrischen Batterie »*per cascade.*« Eine Reihe Leidener Flaschen, deren erste mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung steht, und die unter sich so verbunden sind, dafs die innere Belegung der einen mit der isolirten äufseren Belegung der vorhergehenden zusammenhängt, liefert eine Nachahmung von einer mit einer Batterie verknüpften unterbrochenen Drahtleitung. Eine Verknüpfung des äufseren Beleges der ersten Flasche der Reihe mit dem inneren der letzten entweder durch den Entlader oder durch den Boden, entspricht einer Elektropöe oder *Schliefsung* der Kette. Der Unterschied zwischen der Ladung der ersten und letzten Flasche stellt den Leitungswiderstand dar.

2) Faraday, *Researches I.*, §§. 516 und 1630. (Ann. Bd. 32 S. 430 und Bd. 48, S. 521.

Digitized by Google

ker gebraucht, um den Hub (*pass*) zu durchwandern und die örtliche Kette zu schliefsen.

3) Aus der *Fortpflanzungszeit* der Elektropöe in der örtlichen Kette.

4) Aus der *Inductionszeit* des Magnets der örtlichen Kette.

5) Aus der *Hub-Zeit* in derselben.

Wenn die Ajustirungen der örtlichen Kette gut sind und sich während des Versuchs nicht ändern, auch die Wirkung der örtlichen Batterie constant ist, so bleiben die drei letzten Gröfsen gleich für alle Elektropöe-Signäle während des Versuchs, und sie haben keinen anderen Einfluſs, als dafs sie alle registrirten Pausen um eine sehr kleine Gröfse verlängern. Diefs ist gewöhnlich der Fall gewesen und vereinfacht das Problem sehr bedeutend [1]), indem uns nur drei Gröfsen unbekannt bleiben: Die Zeit der Fortpflanzung, die der Induction und des Hubes in der Hauptkette.

Die Aufzeichnung des Elektrotoms-Signals ist nicht so sehr einer zufälligen Störung unterworfen. Im Moment, wo der Strom in der Drahtrolle aufhört, beginnt das eingeschlossene Eisen von seinem Magnetismus zu verlieren, und sobald es hinreichend geschehen, dafs die Feder den Anker zurückziehen kann, ist die örtliche Kette unterbrochen. Die Zeit des Hubes nach aufsen hat keinen Einfluſs auf die Registrirung. Das Einzige, was in Betracht kommt, ist die Zeit zwischen dem Aufhören des Stroms in der Drahtrolle und dem Verschwinden des Magnetismus im Eisen. Dieses Intervall ist das Umgekehrte der Inductionszeit und mag daher *Eductionszeit* genannt seyn.

Was von den Berichtigungen bei einer Elektropöe bemerkt worden, gilt auch von der Fortpflanzung eines Elektrotoms durch die örtliche Kette und von der Eductionszeit ihres Magnets. Sind die Ajustirungen der örtlichen Kette gut gemacht und bleiben sie unverändert, ist auch die Intensität der Batterie eine constante, so ist der Fehler aus diesen Quellen derselbe für alle Elektrotome und Elektropöen.

1) Walker, Astron. Journ. I. p. 52.

Digitized by Google

Die Hauptfehlerquelle liegt dann, wie ersichtlich, in der Hubzeit des Ankers des empfangenden Magnets, und kann ganz vermieden werden, wenn man nur Elektrotome anwendet, da sie auf diese durchaus keinen Einfluſs ausübt. Daher habe ich es auch vorgezogen, statt der Mittel zwischen Elektrotomen und Elektropöen, bloſs die ersteren abzulesen. Die Hubzeit ist eine sehr beträchtliche Gröſse im Vergleich zu den übrigen Zahlen, um welche es sich bei diesen Untersuchungen handelt.

Die Ajustirung des Hubes zu der zweckmäſsigsten Gröſse geschieht mittelst der Schrauben *J* und *O* (Fig. 5 und 6 Taf. IV.). Die Kraft, mit welcher der Anker angezogen wird, kann, mit Ausnahme sehr groſser Nähe an dem Magnet, als nahe im umgekehrten Verhältniſs der Abstände variirend angesehen werden [1]). Der Abstand, bis zu welchem der Anker sich den Magnetpolen nähern darf, ist beschränkt durch die Bedingung, daſs die Spannung der Spiralfeder stark genug seyn muſs, um ihn sobald als möglich nach Oeffnung der Kette zurückzuziehen, und doch nicht so stark, daſs dadurch die Rückkehr desselben bei abermaliger Schlieſsung der Kette verzögert wird. Der Hub wird daher so kurz als thunlich gemacht, um dem Anker noch hinreichenden Spielraum zu lassen, daſs alle vom Grabstichel auf dem Papier zu machenden Striche und Pausen deutlich und scharf werden. Folgende Betrachtungen haben mich geleitet, um bei den in Rede stehenden Versuchen die Hubzeit abzuschätzen.

Gesetzt die Anziehung des Magnets auf den Anker sey der Schwerkraft an der Erdoberfläche gleich, so haben wir für verschiedene Längen des Hubes folgende Zeiten:

Länge d. Hubes. Millm.	Zeit. Sekunden.	Länge d. Hubes. Millm	Zeit. Sekunden.
2,50	0,0226	1,25	0,0160
2,25	0,0214	1,00	0,0143
0,02	0,0202	0,75	0,0124
7,71	0,0189	0,50	0,0105
5,51	0,0175	0,25	0,0086

1) *Channing, Davis's Manual of Magnetism. pp.* 150—155.

Digitized by Google

So weit ich beurtheilen kann, liegt der gewöhnliche Hub beim *empfangenden Magnet* der Hauptkette zwischen 1,75 und 0,50 Mllm., und diefs würde, unserer Voraussetzung nach, eine Hubzeit von 0″,019 und 0″,010 geben. Eine Anziehungskraft viermal stärker als die Gravitation würde die Hälfte dieser Zahlen geben. Allein diese Betrachtungsweise ist eine sehr rohe, denn da die Anziehung sich mit dem Abstand ändert, so würde die anfängliche Kraft (welche den gröfsten Einflufs auf die Hubzeit ausübt) viel geringer seyn, wenn die Hublänge gröfser wäre, und die Spannung der Springfeder wirkt auch sehr beträchtlich vergröfsernd auf die Hubzeit. Ich möchte glauben, dafs die Hubzeit bei den Versuchen am 4. Februar durchschnittlich etwa 0″,03 betrug. Hr. Walker schätzt sie dagegen auf $\frac{1}{175}$ Sekunde, mehr als doppelt so grofs. Hätten wir in Hrn. Saxton's Uhr irgend wie ein Mittel, die Dauer der Unterbrechung des Stroms zu messen, so würde sie von grofsem Nutzen seyn, da wir dann die Hubzeit in vielen Fällen bestimmen könnten. Bei allen aus den telegraphischen Registern allein zu ziehenden Schlüssen sind Hubzeit und Inductionszeit unzertrennlich verknüpft. Bezeichnen wir die verschiedenen Intervalle mit ihren Anfangsbuchstaben, so haben wir für die *aufgezeichnete* Uhrpause $U = u - e + i + h$.

Als erste Hypothese können wir annehmen, was aus anderen Betrachtungen nicht unwahrscheinlich scheint, dafs e und i gleich sind. Subtrahirt man dann die Länge des Intervalls, während dessen die Kette wirklich durch die Uhr unterbrochen ist, so wird der Rest die *Hubzeit* seyn. Deshalb bat ich Hrn. Saxton durch Hrn. Bache wo möglich eine Schätzung des Intervalls zwischen dem Oeffnen und Schliefsen der Kette bei jeder Uhrpause vorzunehmen. Hr. Saxton erklärte aber, was sehr zu bedauern ist, dafs er dazu aufser Stande sey. Es scheint mir, dafs sorgfältige Beobachtungen des Winkels, welchen das Pendel, zur Zeit wo es den Stofshammer schlägt, mit der Verticale macht, einige Genauigkeit in der Abschätzung liefern werde. Die

Digitized by Google

daraus hergeleitete Hubzeit würde uns andererseits in den Stand setzen, unsere Hypothese von der Gleichheit der Inductions- und Eductionszeit zu prüfen. Für jetzt wird sie allein durch das mir einiges Vertrauen einflößende Resultat unterstützt, daſs die Geschwindigkeit der Elektrotom- und der Elektropöe-Signäle gleich ist. Die letztere ist indeſs umgekehrt proportional der Summe aller Inductionszeiten der Theilchen längs dem ganzen Draht, wie es die erstere der Summe ihrer Eductionszeiten ist. Wenn diese für den Draht gleich sind, ist der Schluſs natürlich, daſs sie auch für den Eisenkern der Drahtrolle gleich sind, sobald dieser so weich ist als das Eisen des Drahts.

Solche Speculationen sind indeſs eitel und würden nicht gerechtfertigt seyn, hätten wir Data zu einer genauen Untersuchung der Frage. Sowie aber das Problem sich jetzt uns darbietet, scheint Jedes interessant und beachtenswerth, was zu einer Vermuthung Gelegenheit giebt.

Mein Freund Prof. Mitchel glaubt durch den von ihm angewandten Apparat die Länge der Ankerzeit, welche der Summe der Inductions- und der Hubzeit gleich ist, wirklich messen zu können [1]). Die von ihm benutzte Methode läſst sich indeſs nicht auf die mit Morse's Instrument gemachte Aufzeichnung anwenden.

In dem früheren Theile meiner Bemerkungen lieſs ich es unentschieden, ob die Elektrotome und Elektropöen mit gleicher Geschwindigkeit gehen, und so eben habe ich diese Frage bejaht. Diese Ansicht bildete sich folgendermaſsen.

Wir haben die Länge der aufgezeichneten Uhrpause $U = u - e + i + h$ und die der aufgezeichneten Signalpause $S = s - e + i + h$.

Nehmen wir den Unterschied beider, so verschwinden die drei unbekannten Gröſsen und wir haben $U - S = u - s$ d. h. der Unterschied der wirklichen Dauer der Pausen gleich dem Unterschiede ihrer aufgezeichneten Dauer. Die einzige Voraussetzung hierbei ist, daſs die Zeiten der Induction, der Eduction und des Hubes gleich seyen für beide Pausen, eine ganz gerechtfertigte Voraussetzung, wenn wir

1) Astron. Journ. I. p. 16.

Digitized by Google

jede Signalpause mit der nächsten Uhrpause vergleichen. Selten werden sie mehr als eine Viertelsekunde aus einanderliegen, und innerhalb eines so kurzen Intervalls ist eine merkliche Veränderung der Werthe der Berichtigungen nicht wahrscheinlich. Ich habe von den Längenunterschieden der Striche desselben Signals und der Uhrstriche für sechs verschiedene Telegraphenstationen auf der Linie von Washington nach St. Louis eine Tafel gebildet, und finde aus der Discussion von mehr als hundert verschiedenen Signälen, dafs das Mittel aus diesen Unterschieden fast identisch ist für alle Stationen.

Die Intensität des Stromes ist, selbst an dem nämlichen Ort, wegen verschiedener Einflüsse ganz ungleich; dahin gehören: thermometrische und hygrometrische Veränderungen in der Atmosphäre, welche auf die Isolation und Leitung einwirken; Unbeständigkeit der Batterie, deren Thätigkeit sich sehr mit der Temperatur verändert; Heterogenität in der Substanz der Platten; fortwährende Bildung und Abblätterung von Oxyd-Ueberzügen [1]) und viele andere Umstände. Bereits haben wir gesehen, dafs die Hubzeit mit der Intensität des Elektromagnetismus und folglich mit der Intensität des Stromes variirt [2]), und daraus dürfen wir schliefsen, dafs die verschiedenen Uhrpausen, selbst auf denselben Registern, nicht von gleicher Länge erscheinen. Dafs sie es nicht thun, geht aus folgender Tafel hervor, welche den mittleren Werth der Uhrpausen an jeder Station für fünf auf einander folgende Minuten angiebt.

1) Faraday, *Researches I.* §. 1144. (Ann. Bd. 36, S. 518.)
2) Fechner, Schweigg. Journ. Bd. LXIX. S. 274 u. 316. Lenz und Jacobi, Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 233. *Bull. de l'Acad. de St. Petersb. IV*, 204.

Digitized by Google

Mittlere Länge der Uhrpause.

	Seaton Station.	Washington.	Pittsburg.	Cincinnati.	Louisville	St. Louis.
8h 47'	0",072	0",068	0",055	0",095	0",098	0",092
48	0 ,091	0 ,050	0 ,067	0 ,090	0 ,093	0 ,100
49	0 ,094	0 ,065	0 ,055	0 ,084	0 ,125	0 ,110
50	0 ,103	0 ,071	0 ,059	0 ,081	0 ,103	0 ,118
51	0 ,100	0 ,078	0 ,055	0 ,081	0 ,093	0 ,102
Mittel	0 ,091	0, 067	0 ,058	0, 087	0 ,104	0 ,109.

Wie man bemerken wird, folgen die Veränderungen durchaus keinem allgemeinen Gesetz; die Länge der Pause wächst an einer Station, während sie an einer anderen abnimmt, und sie ist keineswegs proportional dem Abstande von der Uhrstation, auch nicht, so weit ich urtheilen kann, der Stärke der örtlichen Batterien [1]).

Der Hub beim Pittsburger Register war zu klein, so klein, dafs die Aufzeichnungen sehr undeutlich und schwierig abzulesen waren; man wird bemerken, dafs die Uhrpausen des Pittsburger Registers die kürzesten waren. Die Aufzeichnungen zu Cincinnati waren die deutlichsten von allen, zum Theil wegen der feineren Beschaffenheit des Papiers. Die Uhrpausen kommen zwischen 0",04 und 0",16 von allen Längen vor. Die mittlere Länge ist nicht weit von 0",086. Ich glaube, der gröfsere Theil der Unregelmäfsigkeiten rührt von Ursachen her, die viel weniger verborgen als die erwähnten sind, hauptsächlich von Unregelmäfsigkeiten und Unvollkommenheiten in dem mechanischen Theil des Registrirapparats.

Bain's galvano-chemischer Telegraph liefert eine Gelegenheit, den Versuch ganz unabhängig von der bei Morse's Apparat so störenden Hubzeit anzustellen. Das Papier, auf welchem bei Bain's Telegraph die Aufzeichnung geschieht, ist gefärbt mit einer Lösung von Kaliumeisenchlorür (*ferrocyanate of potash*). Es sitzt auf einer rotirenden Metallscheibe, die mit dem einen Pol der Batterie verbunden ist, während eine Nadel oder ein zugespitzter Draht darauf herumfährt. Wenn die Kette geschlossen

1) *Pouillet, Compt. rend. T. IV. p.* 272.

Digitized by Google

wird, geht der Strom zwischen Nadel und Metallscheibe über und färbt bei seinem Durchgang das Papier durch theilweise Zersetzung des Kaliumeisenchlorürs. Mit diesem Telegraphen hat Walker eine Reihe von Versuchen zwischen Boston und New-York angestellt [1]). Allein obwohl hier die Hubzeit vermieden ist, werden dafür andere Fehlerquellen eingeführt. Die Zeiten der Aussetzung und des Beharrens der chemischen Wirkung nehmen die Stelle der Zeiten der Induction und Eduction beim Elektromagnet ein und eine neue, ernstliche Schwierigkeit entsteht durch das Ausbreiten der Linien, die eine chemische Wirkung erlitten haben [2]).

Der Charakter des elektro-chemischen Telegraphen erlaubt keine örtliche Kette, im technischen Sinne dieses Ausdrucks, und in der That ist sie auch unnöthig, denn ein Strom, der fähig wäre eine örtliche Kette zu schliefsen, würde auch auf das sehr empfindliche Salz, mit welchem das Papier getränkt ist, kräftig einwirken.

Allein bei den Geschwindigkeits-Versuchen ist es nöthig, dafs wenigstens an den beiden Endstationen eine Aufzeichnung gemacht werde; und das Schliefsen der Kette an der einen Station, um daselbst aufzuzeichnen, lenkt nothwendig den Strom von der anderen ab. An Stationen, die nicht weiter von einander liegen wie New-York und Boston, mag mit einer kräftigen Batterie eine genügende Aufzeichnung erlangt werden; allein bei einer so langen Linie, wie die von New-York nach Buffalo, würde eine Batterie, die so kräftig wäre, dafs sie an dem einen Endpunkt ein Loch ins Papier brennte, dennoch nicht an dem andern die Signäle aufzeichnen, wenn man die Kette der Signal-Station schlösse.

Diesem Uebelstande hat Hr. Bain sinnreich dadurch abgeholfen, dafs er an der Signalstation eine kurze Kette anwendet, die durch denselben Drücker geschlossen wird, welcher die Hauptkette schliefst. Allein selbst dieses führt eine neue Quelle von Unsicherheit ein. Ein sonderbares

1) Astron. Journ. 1. S. 105.

2) Ibid. p. 108. *Proceed. Americ. Assoc.* 1849. *p.* 189.

Digitized by Google

Resultat, welches Hr. Walker aus seinen Versuchen ableitet [1]), besteht darin, dafs die entfärbten Linien, welche die Dauer des Stroms messen, an der Station, wo die Signäle gegeben werden, länger sind als an dem andern Ende der Linie. Daraus könnte man in Bezug auf die Gleichheit der Geschwindigkeit der Elektrotome und Elektropöen einen umgekehrten Schlufs ziehen, wie ich aus den Registern von St. Louis zog; allein es scheint mir wahrscheinlicher, dafs die Erscheinung entweder von einer Verschiedenheit der Kette oder von einer höheren Intensität des Stroms und folglich der chemischen Wirkungen desselben herrührt. Die Frage bleibt noch offen für die Discussion.

Die Versuche von Fizeau und Gounelle in Frankreich wurden nach einem ganz andern Princip gemacht und führten zu einer Reihe von Schlüssen, die in den *Comptes rendus*, 1851 April, im Detail gegeben sind [2]). Die veröffentlichte Beschreibung ihrer Methode ist indefs sehr dunkel und die Data, worauf sie ihre Schlüsse begründen, sind nicht vollständig angegeben. Ihre Methode scheint einigermafsen analog dem sehr eleganten Versuch, durch welchen Hr. Fizeau früher die Geschwindigkeit des Lichts zwischen Paris und Montmartre gemessen hat [3]). Ein Rad, welches 36 abwechselnd hölzerne und platinerne Abtheilungen enthält, dreht sich, mit dem Rande isolirte Platinplatten berührend, von denen jedes Paar einen besonderen Strom-Unterbrecher bildet. Das Triebwerk des Rades ist verbunden mit einem Apparat zur Messung der Rotationsgeschwindigkeit und die Wirkung der verschiedenen Geschwindigkeiten und der verschiedenen Ketten wird an einem Galvanometer beobachtet [4]).

Aus diesen Versuchen leiteten sie, wie schon gesagt, eine Stromgeschwindigkeit her, die für den 4 Millimeter

1) Astron. Journ. I. S. 106.
2) *Compt. rend. XXX. p.* 439. (Ann. Bd. 80, S. 158.)
3) *Ib. T. XXIX, pp.* 99, 132. (Ann. Bd. 79, S. 167.)
4) Becquerel *Traité T. V. p.* 275.

Digitized by Google

dicken Eisendraht 63200, und für den 2,5 Millimeter dicken Kupferdraht 110000 engl. Meilen in der Sekunde betrug.

Ueberdiefs folgern sie:

Dafs die beiden Elektricitäten sich mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen [1]).

Dafs die Spannung der Elektricität keinen Einflufs auf die Geschwindigkeit habe.

Dafs die Geschwindigkeit sich nicht mit dem Querschnitt des leitenden Materials verändert, sondern nur mit dessen Natur, und zwar nicht im Verhältnifs der Leitungsfähigkeit.

Dafs die discontinuirlichen Ströme »eine Ausbreitung erleiden, in Folge welcher sie am Ankunftspunkte einen gröfseren Raum einnehmen als am Ausgangspunkt.«

Diefs letztere Resultat steht im geraden Widerspruch zu den von Walker mit dem chemischen Telegraph angestellten Versuchen, durch welche er, bei Anwendung einer unendlich weniger complicirten Methode, die Dauer der elektrischen Ströme an der entfernteren Station geringer fand. Nach Fizeau pflanzt sich die Elektropöe rascher fort als das Elektrotom [2]); nach Walker ist es umgekehrt [3]). Fizeau gebrauchte eine Kette von 374 engl. Meilen Länge, Walker eine von 250 engl. Meilen Draht, dessen beide Enden durch eine Bodenstrecke von 190 engl. Meilen communiciren.

Die Versuche, welche die Küsten-Vermessung am 4. Februar auf der Linie von Washington und St. Louis, bei 1045 engl. Meilen Entfernung durch den Draht und 742 in geodätischer Linie, anstellten, lassen mich vermuthen, wie schon gesagt, dafs die Geschwindigkeit beider Signäle dieselbe sey, oder (bei Gleichheit aller übrigen Umstände) die aufgezeichneten Pausen an allen Stationen der Kette gleiche Länge besitzen. Hrn. Walkers Resultate möchte ich einer intensiveren chemischen Wirkung des Stroms auf das zubereitete Papier an den Signalstationen zuschreiben,

1) Faraday, *Researches I.* §. 1333. (Ann. Bd. 47, S. 41.)
2) *Compt. rend. T. XXX. p.* 440. (Ann. Bd. 80, S. 158.)
3) Astron. Journ. I. p. 106.

Digitized by Google

und ungeachtet ich für die merkwürdige Sinnreichheit und Sorgfalt des Hrn. Fizeau die aufrichtigste Bewunderung hege, kann ich doch nicht umhin, seine Methode als wenig zuverlässig zu betrachten.

Walker's Schlüsse hinsichtlich der Geschwindigkeit sind keineswegs unvereinbar mit Wheatstone's Versuch, denn die Spannung der Elektricität, das Leitvermögen und die Gröfse des Drahts waren so verschieden in beiden Fällen, dafs jeder Vergleich unmöglich ist. Fizeau dagegen steht im offensten Widerspruch mit demselben, denn er findet, dafs weder die Spannung der Elektricität, noch die Intensität des Stroms, noch die Dicke des Leiters irgend einen Einfluſs auf die Geschwindigkeit ausübt, und zugleich setzt er die Geschwindigkeit durch seinen Kupferdraht auf 110000 engl. Meilen in der Sekunde, während Wheatstone 288000 für die untere Gränze der Geschwindigkeit in dem von ihm angewandten Kupferdraht fand.

Die anderweitigen Fragen, auf welche ich die Resultate des Washington-St. Louis-Versuchs anzuwenden beabsichtige, sind:

1. Erhielten die Stationen auf der Linie die Signalpausen in der Ordnung ihrer Entfernung und nach Zeiten, die ihrer Entfernung von dem Orte, wo das Signal gegeben wurde, proportional waren.

2. Wenn diefs der Fall war: auf welchem Wege gelangten die Signäle zu den einzelnen Stationen, entweder durch die Erde, wie Hr. Walker glaubt, wenn die Entfernung zwischen den Stationen durch die Erdoberfläche geringer ist als durch den Draht, und, wenn dem so war, mit welcher Geschwindigkeit, oder wanderten sie gleichförmig durch den Draht und mit welcher Geschwindigkeit.

3. Bewirkte die Intensität des Stroms einen wahrnehmbaren Unterschied in der Geschwindigkeit [1]) oder ward letztere durch Einschaltung einer Batterie zwischen zwei Stationen merklich abgeändert.

1) Fechner's *Repert. II*, 407. Poggendorff's Annalen LII, 497. De la Rive, *Archives de l'Electricité*, *I*, 533.

Digitized by Google

Bei allen Messungen zur Bestimmung der Geschwindigkeit habe ich nur die Elektrotome gebraucht, und die Resultate sind demnach ganz unabhängig von der Hubzeit der Hauptkette.

Die Register von Pittsburg und St. Louis sind beide sehr undeutlich, theils wegen Unbestimmtheit der vom Grabstichel gemachten Eindrücke, theils wegen der schlechten Beschaffenheit des Papiers. Das Pittsburger Register ist überdiefs wegen der Kürze des Hubes an vielen Stellen unleserlich. Diefs könnte indefs leichter als alle übrigen entbehrt werden; allein es ist ein sehr unglücklicher Umstand, dafs gerade das St. Louis-Register, das wichtigste von allen, so undeutlich ist. Auch zeigte es den Nachtheil, dafs wegen der langsamen Bewegung des Papierstreifens, die Möglichkeit, einen Fehler beim Messen zu begehen, bedeutend vergröfsert war.

Die Messung der Intervalle auf dem Papierstreif ist eine grofse und sehr mühsame Arbeit und der Fehler beim Ablesen steigt im Mittel auf einige Hundertel-Sekunden, obwohl die Intervalle meistens mittelst Zirkel (*dividers*) und Metallscale, nicht mit einer Diagonalscale von Horn, gemessen wurden [1]).

Alle angeführten Resultate beruhen auf dem Mittel einer grofsen Zahl von Ablesungen; mehr als 5000 Messungen wurden am 4. Februar gemacht, um sie zu erhalten. Der wahrscheinliche Fehler, der in jedem Fall berechnet wurde, giebt an, wie weit sie zuverlässig sind. Die entsprechenden Minuten wurden durch die von den Telegraphisten zu der Zeit gemachten Bleistiftstriche ohne Schwierigkeit erkannt; allein derjenige Theil des Streifs, welcher der Zeit des Aufziehens des den Registrirapparat bewegenden Gewichts entsprach, wurde nicht immer aufgezeichnet, und diese Unterlassung veranlafste, wie leicht zu erachten, grofse Beschwerde.

Zur Schätzung der Drahtlängen zwischen den verschiedenen Stationen wurden zu den in den Registern (*Books*

1) *Proceed. Americ. Assoc.* 1849 *p.* 189.

Digitized by Google

of reference) angegebenen Entfernungen zehn Procent hinzugefügt. Dieser Zusatz glaube ich, ist für den krummen zikzakförmigen Lauf der Drähte zu gering, mag indefs in Ermangelung genauerer Kenntnifs einstweilen gebraucht werden. Dann sind die Entfernungen der verschiedenen Stationen entlang dem Draht folgende:

Washington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1015	757	428	298	St. Louis.

Die Versuche nahmen eine Zeit von mehren Stunden ein. Die Uhr zu Seaton graduirte die Scale in Seaton selbst, in Washington City, Pittsburg, Louisville und St. Louis. Der Telegraphist (*Operator*) zu St. Louis gab von Zeit zu Zeit, in Intervallen von zwei oder drei Sekunden durch Unterbrechung des Stromes willkührliche Signäle, welche an allen Stationen aufgezeichnet wurden. Er that diefs zwei Minuten hindurch, zwei Mal an jedem Abend. Dasselbe thaten die Telegraphisten zu Louisville, Cincinnati und Pittsburg. An der letzteren Station wurden auch zehn Minuten lang Signäle gemacht, nachdem zu Seaton die Batterie aus dem zwischen der Uhr und dem Erboden liegenden Theil der Kette entfernt, und zwischen der Uhr und Pittsburg eingeschaltet worden war.

Die Anzahl der zur Erlangung des mittleren Unterschiedes der Register angewandten Messungen ist so grofs, dafs die Hinzufügung oder Wegnahme von funfzig aufeinanderfolgenden Messungen keinen merkbaren Einflufs auf das Resultat hat.

Wir haben gehen, dafs wenn die Uhrpausen zu Washington und die willkührlichen Signalpausen zu St. Louis gemacht werden, der Unterschied des Intervalls zwischen den Pausen in den Registern der Stationen der Zeit entspricht, welche der Strom zum zweimaligen Durchlaufen des Weges zwischen den Stationen gebraucht, indem an der Signalstation die Uhrpausen um denselben Betrag spä-

Digitized by Google

ter, und die Signalpausen früher aufgezeichnet werden. Dasselbe gilt von den intermediären Orten; der Ueberschufs des aufgezeichneten Intervalls an der Uhrstation ist gröfser um einen Betrag gleich dem doppelten Abstand zwischen den Stationen, deren Register verglichen wurden, dividirt durch die Anzahl von Meilen, welche der Strom in einer Sekunde durchlaufen hat.

Betrachten wir nun die Wirkung eines Signals, das nicht an einer Endstation, sondern an einer intermediären gemacht worden ist. An allen Orten jenseits dieser erfolgen die beiden Pausen um dasselbe Intervall später, als die entsprechende an der Signalstation; so dafs die Abnahme des aufgezeichneten Intervalls auf den Registern der successiven Stationen die Geschwindigkeit für das Doppelte des Abstandes von Washington mifst, bis wir die Station erreichen, wo das Signal gegeben ward. Allein für alle Orte jenseits der Signalstation bleibt das Intervall gleich, und die Aufzeichnung desselben mufs identisch seyn mit der auf der Signalstation selbst. Wir sind sonach im Stande, durch die an allen jenseitigen Stationen gemachten Aufzeichnungen unsere Schätzung der Geschwindigkeit zwischen der Uhr- und Signalstation zu controliren.

Für die Ueberschüsse der Intervalle zwischen den Signalpausen und den vorgehenden Uhrpausen auf dem Washington-Register über die auf den Registern der übrigen Stationen finde ich folgende Mittelwerthe.

Washington-Ueberschüsse.

Register.	Signäle.			
	Pittsburg	Cincinnati	Louisville	St. Louis
Pittsburg	0,0295	0,0283	0,0373	0,0451
Cincinnati	0,0317	0,0752	0,0843	0,0950
Louisville	0,0347	0,0750	0,1163	0,1343
St. Louis	0,0455	0,0704	0,1108	0,1451

Beschränken wir uns auf die Aufzeichnungen der zu St. Louis gemachten Signale, so finden wir, dafs die verschiedenen Register folgende Geschwindigkeiten anzeigen.

Digitized by Google

Pittsburg	12772	engl. Meil. in d. Sekunde
Cincinnati	13095	
Louisville	11124	
St. Louis	14404	
Mittel	12851.	

Die Uebereinstimmung dieser Zahlen halte ich für sehr befriedigend. Man wird bemerken, dafs das St. Louis-Register eine viel gröfsere Geschwindigkeit angiebt als alle übrigen. Nun beträgt die Entfernung von Washington nach St. Louis 1046 engl. Meilen im Drahte, aber nur 742 in geodätischer Linie, und es entsteht nun sehr natürlich die Frage: ob diese scheinbar gröfsere Geschwindigkeit nicht daraus entspringe, dafs die Signäle eher durch den Erdboden, als den kürzeren Theil der Kette, fortgepflanzt werden als durch den Draht. Die Entfernung nach Louisville beträgt im Drahte 747 engl. Meilen, und wenn die Signäle nach St. Louis durch den Boden mit derselben Geschwindigkeit fortgepflanzt würden wie nach Louisville durch den Draht, so würde die Fortpflanzungszeit für beide Orte gleich seyn. Die Resultate der Messungen bei diesen Versuchen zeigen, dafs die Signäle eine längere Zeit gebrauchten um St. Louis zu erreichen als Louisville, obwohl die gröfsere Länge der Zeit nicht der gröfsern Entfernung proportional zu seyn scheint. Diejenigen, welche glauben, dafs die Signäle durch die Erde fortgepflanzt werden (wenn durch sie die Entfernung kürzer ist), erklären diese beiden Umstände durch die sehr wahrscheinliche Annahme, dafs die Geschwindigkeit in dem Boden verschieden ist von der in dem Draht. Die Data unseres Versuches würden Alles Erforderliche zur Entscheidung dieser Frage liefern, stimmten die Messungen hinreichend gut mit einander. Erwägt man indefs, dafs wir es mit Gröfsen wie Hundertel und Tausendstel einer Sekunde zu thun haben, gemessen überdiefs mit Zirkel und Metallscale, auf Papier von verschiedener Güte, dessen hygrometrische Zusammenziehung und Ausdehnung nicht allein sehr grofs, sondern auch ungleich ist, so kann man von den Resultaten der verschiedenen Messungen keine sehr grofse Uebereinstimmung erwarten.

Digitized by Google

Wir geben hier die übrigen Data mehr im Detail nebst den nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmten wahrscheinlichen Fehlern.

Register.	Beob. Nummer.	Intervall.	Wahrschl. Fehler.	Geschwindigkeit.	Min. Gränze	Max. Gränze
St. Louis-Signäle.						
P.	56	0″,0451	0″,00252	12772	12096	13527
C.	60	0 ,0950	0 ,00302	13095	12691	13525
L.	65	0 ,1313	0 ,00252	11124	10919	11337
St. L.	61	0 ,1451	0 ,00329	14404	14085	14738
Louisville-Signäle.						
P.	37	0″,0373	0″,00267	15442	14410	16633
C.	46	0 ,0844	0 ,00148	14748	14494	15012
L.	46	0 ,1163	0 ,00149	12846	12684	13012
St. L.	36	0 ,1108	0 ,00173	13484	13276	13698
Cincinnati-Signäle.						
P.	32	0″,0283	0″,00459	20400	17513	24294
C.	32	0 ,0752	0 ,00486	16543	15534	17685
L.	32	0 ,0750	0 ,00489	16587	15571	17744
St. L.	26	0 ,0704	0 ,00442	17670	16627	18854
Pittsburg-Signäle.						
P.	44	0″,0295	0″,00154	19525	18557	20601
C.	36	0 ,0317	0 ,00233	18170	16926	19612
L.	37	0 ,0347	0 ,00258	16591	15451	17922
St. L.	10	0 ,0445	0 ,00249	12659	12003	13392

Klassificiren wir diese nach den Stationen, deren Entfernungen durch die aufgezeichneten Werthe gemessen sind, so haben wir:

Stationen.	Mittleres Intervall.	Zahl der Beobachtung.	Geschwindigkeit. engl. Meilen pro Sekunde.
Pittsburg	0″,03567	252	16147
Cincinnati	0 ,08289	196	15008
Louisville	0 ,12291	147	12155
St. Louis	0 ,14510	61	14404

Die Combination dieser Werthe nach der Methode der kleinsten Quadrate giebt als das Resultat der Versuche vom

Digitized by Google

vom 4. Februar eine Geschwindigkeit von 14900 engl. Meilen mit einem wahrscheinlichen Fehler des Mittels $= \pm 10$.

Diese letzten Tafeln scheinen die erste der vorhin aufgestellten Fragen entscheidend zu beantworten, und zugleicher Zeit die zweite aufzuschliefsen. Wir sind berechtigt anzunehmen, dafs die durch Schliefsen und Oeffnen der galvanischen Kette gegebenen Signäle die verschiedenen Stationen successive in der Ordnung ihrer Entfernung erreichen und mit einer endlichen, mefsbaren Geschwindigkeit fortschreiten. Allein erreichen sie die Endstation *durch die Drähte* erst, wenn die Entfernung durch den Boden kürzer ist?

Hätten die Telegraphen gegenwärtig die Einrichtung, welche sie anfänglich besafsen, so würde vielleicht Eine Unsicherheitsquelle bei den Versuchen vermieden worden seyn; allein die Gelegenheit das letztere Problem zu lösen wäre verloren gegangen. So lange Steinheil's Entdeckung, dafs telegraphische Ketten ohne Nachtheil zur Hälfte aus dem Erdboden bestehen können, nicht benutzt ward, hatte eine jede derselben zwei Drähte zwischen den Endstationen. Allein hier zu Lande bildet auf allen Linien der Erdboden eine Hälfte der Kette.

Haben wir, wenn die beiden Enden einer Drahtleitung in einer Entfernung von vielen hundert Meilen von einander mit der Erde verbunden sind, anzunehmen, dafs es durch die Erde hin eine specielle Spannungslinie von einem Ende zum anderen gebe, und dafs ein Signal vom Ende zum Ende durch den Boden in derselben Weise mitgetheilt werde wie durch den Draht? oder dürfen wir die Erde, um metaphorisch zu sprechen, als ein unermefsliches Receptacutum betrachten, das fähig ist zu jeder Zeit jede Elektricitätsmenge aufzunehmen? Die erstere Meinung ist die meines Freundes Walker.

Allein ist es nicht unwahrscheinlich, dafs die schwache Thätigkeit einer galvanischen Batterie, die eine Drahtleitung von 1000 engl. Meilen durchläuft, im Stande sey, auf einer Strecke von 750 engl. Meilen durch die Erde

Digitized by Google

hin in einer Sehne oder mit der Oberfläche Parallelen eine specielle Spannungslinie herzustellen? Ich meinerseits, mufs bekennen, dafs ich, bei Erwägung der grofsen Phänomene des Erdmagnetismus [1]), der ungeheuren galvanischen Kraft, die durch den gegenseitigen Einflufs der im Innern der Erde vorhandenen unermefslichen Metallmassen erregt werden mufs [2]), so wie der mächtigen elektrischen Thätigkeit, die bei den grofsen Processen der Natur entwickelt wird [3]), nicht zu glauben vermag, es könne, gegenüber allen diesen riesenhaften Kräften, die Wirkung einer schwachen Telegraphenbatterie eine *specielle continuirliche Linie* elektrischer Spannung durch den Boden hin zwischen zwei entlegenen Stationen herstellen [4]). Doch mufs sich jede

1) Faraday, *Researches II.* 151.

2) *Phil. Transact.* 1830.

3) Pouillet, *Ann. de chim. et de phys. XXXV.* 414. — Becquerell *Traité IV.* 164, 188. — Faraday, *Researches II.* 47, 93.

4) Mit *specieller* Spannungslinie meine ich eine Linie, welche, gleichviel ob unabhängig oder resultirend, im Stande ist, Elektrotom- und Elektropöe-Signale in derselben Weise zu leiten, wie es von einem Drahte geschieht. Nach den bewundernswerthen analytischen Forschungen von Smaasen (Pogg. Ann. Bd. 69 S. 162 und Bd. 72 S. 435) und den bestätigenden, obwohl unabhängigen Untersuchungen von Ridolfi (*Il Cimento*, 1847, May und Juni, Pogg. Ann. Bd. 72 S. 449) kann die Leitungsfähigkeit (*character of conduction*) der Erde nicht länger zweifelhaft seyn. Nach Baumgartner's Versuchen (Sitzungsberichte der Wiener Acad. 1849 May 10, Juli 5) scheint der Leitungswiderstand der Erde für Voltaische Ströme in grofsem Maafse von der geologischen Beschaffenheit der durchströmten Oertlichkeiten abhängig zu seyn, da seine Versuche, das Leitvermögen der Erde zu messen, für verschiedene Richtungen von Wien aus, sehr verschiedene numerische Resultate ergaben. Baumgartner schliefst aus seinen Versuchen, dafs die krummen Linien, welche der Strom zwischen den Elektroden durchläuft, nicht so sehr divergiren, wie es die Untersuchungen von Smaasen und Kirchhoff (Pogg. Ann. Bd. 72 S. 497 und Bd. 75 S. 189) vermuthen lassen würden. Allein seine Versuche dürften wohl dem von Smaasen erhobenen Einwurf ausgesetzt seyn (Pogg. Ann. Bd. 72 S. 448), dafs wir die Polarisation der Platten genau kennen müssen, bevor wir eine sichere Folgerung auf den Widerstand der Erde ziehen können. Alle Bemühungen, das Leitvermögen der Erde aus den Küsten-Vermessungs-Versuchen vom 23. Jan. und 31. Oct. 1849 oder vom 4. Febr., 5. Febr. und 8. Juli 1850 in

Digitized by Google

Ansicht, die von den ausgesprochenen Meinungen einiger unserer gröfsten Naturforscher abweicht, mit Mifstrauen einstellen.

Die von mir gefafste Ansicht, scheint durch die Küsten-Vermessungs-Versuche vom 4. Februar in zweierlei Weise bestätigt zu werden.

Gesetzt zunächst, die Uhrsignäle gingen von der Seaton-Station gleichzeig in zwei Richtungen aus, um zugleich durch den Draht und durch die Erde zu dem Endpunkt in St. Louis fortgepflanzt zu werden; dann müssen wir annehmen:

1. Entweder, dafs das Signal, welches den Boden durchläuft, sich mit einer Geschwindigkeit bewege, die zu der durch den Draht genau in demselben Verhältnifs stehe, wie die Entfernung auf dem einen Wege zu der auf dem anderen. Diefs würde fast unendlich unwahrscheinlich seyn, hätten wir nur den St. Louis-Versuch als Führer; allein wir besitzen auch die Küsten-Vermessungs-Versuche nach Cincinnati und Charleston und diese erweisen die Hypothese als unrichtig.

2. Oder, dafs die Geschwindigkeit durch die Erde so klein sey, dafs das Elektrotom, nach einem Durchgang von 742 engl. Meilen durch die Erde, St. Louis nicht erreiche, ehe die ganze Signalpause und die Elektropöe durch die 1049 Meilen Draht gegangen seyen. In dieser Hypothese würde der Durchgang durch 742 Meilen des Bodens mehr als eine Viertelsekunde einnehmen, und wir können nicht sagen, wie viel mehr.

der Voraussetzung abzuleiten, dafs die Erde die telegraphischen Signäle leitete, würden für die Erde ein Leitvermögen geringer als das eines Eisendrahts ergeben, ein Resultat, welches im geradesten Widerspruch stände mit den Versuchen von Jacobi (Pogg Ann. Bd. 68 S. 483). Matteucci (De la Rive, *Archiv. de l'Électr. XVII.*, 157) und Baumgartner.

Nehmen wir aber an, die Erde könne unter den günstigsten Umständen Signäle leiten wie es von einem Draht geschieht, so verdächtigen wir die Versuche von Mitchel (Astron. Journ. I. p. 43) und von Fizeau und Gounelle (*Compt. rend. XXX. p.* 437. — Diese Ann. Bd. 80 S. 158).

Digitized by Google

Das zweite Argument zur Stütze meiner Ansicht ist ebenfalls aus dem Versuch abgeleitet, und obgleich es nicht aus einer so directen Negation wie das erste besteht, so ist es doch in hinreichendem Grade von der Natur einer *reductio ad absurdum* um vielleicht mehr als das erste zu überzeugen. Es beruht auf dem Vergleich der Aufzeichnungen der zu St. Louis und den näheren Stationen gemachten Signäle.

Nehmen wir an, die Signäle seyen zwischen Washington und St. Louis durch die Erde gegangen, so ist es leicht durch den Vergleich der Louisville- und St. Louis-Register die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Erdboden zu bestimmen. Das St. Louis-Register giebt in der gemachten Annahme eine Geschwindigkeit durch die Erde, welche die Fortpflanzungszeit für 742 engl. Meilen zwischen den Endpunkten gleich der machen würde, die zum Durchlaufen von 528 Meilen Draht erforderlich ist. Diefs kommt darauf hinaus, wie wenn der Strom zwischen den Endpunkten mit derselben Geschwindigkeit wie in dem Draht ginge, allein durch eine Strecke von nur 528 engl. Meilen. Zur Bequemlichkeit des Ausdrucks will ich reden, wie wenn diefs der Fall wäre. Das Resultat würde genau dasselbe seyn.

Wir haben dann beim Vergleich der verschiedenen Register zweierlei Fälle, solche, bei denen die Entfernung zwischen den Stationen durch den Draht die kürzere ist, und solche, wo die durch den Boden es ist. Wir wollen die Geschwindigkeit für die letzteren Fälle nach jeder Hypothese herleiten, und dann untersuchen, welche am besten übereinstimme mit der für diejenigen Fälle berechneten Geschwindigkeit, wo beide Hypothesen dasselbe Resultat geben.

Die folgende Tafel liefert das Material zu diesem Vergleich. Die erste Hypothese ist: dafs die Signäle allein durch den Draht wandern; die zweite: dafs sie den kürzeren Weg durch den Boden einschlagen. In der einen Columne sind die relativen Entfernungen nach beiden Hypothesen, in der anderen die daraus abgeleiteten Geschwindigkeiten enthalten. Aus den Widersprüchen zwischen den

Digitized by Google

abgeleiteten Geschwindigkeiten schliefse ich, dafs die Unwahrscheinlichkeit der zweiten Hypothese aufserordentlich grofs ist.

Signal.	Register.	Relative Entfernung.		Entsprechende Geschwindigkeit.	
		Hypth. I.	Hypth. II.	Hypth. I.	Hypth. II.
St. L.	P.	576	59	12800	1311
P.	St. L.	576	59	10473	1073
St. L.	C.	1244	727	13097	7651
C.	St. L.	1244	727	17771	10386
St. L.	L.	1494	977	11405	7458
L.	St. L.	1494	977	13484	8817
St. L.	St. L.	2090	1055	14415	7283

Alle Resultate der Versuche, die von der Küsten-Vermessung zu Bestimmung der Geschwindigkeit des galvanischen Stroms gemacht worden, sind mir von meinem Freunde Hrn. Walker, dem Director dieser Unternehmung, gütigst zur Verfügung gestellt. Dieselben liefern das Material zu einer Reihe von Tafeln, welche die Herleitungen aus allen Versuchen enthalten. Stellt man in einer Tafel alle die Fälle zusammen, wo der Strom durch die Drähte gegangen seyn mufs, und in einer anderen alle diejenigen, wo der Erdboden einen Theil der kürzesten Kette ausmachte, so haben wir zwei Gleichungen mit zwei unbekannten Gröfsen, nämlich die Geschwindigkeit im Boden und die im Drahte. Bestimmt man die letztere unabhängig, so ergiebt sich die Geschwindigkeit aus all den Fällen, wo die Entfernung durch den Draht die kürzere ist, durch 26 verschiedene Vergleiche, die auf 768 Ablesungen beruhen, zu 15600 engl. Meilen in der Sekunde. Durch Substitution dieses Werthes in der anderen Gleichung, erhält man die Anzahl von Meilen Draht, welcher die Fortpflanzungszeit entspricht. Diese Gleichungen können mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate gebildet werden. Die Erörterung der Resultate aller Versuche der Küsten-Vermessung, namentlich derjenigen auf den Linien von Washington nach Cambridge, Washington nach Cincinnati,

Digitized by Google

Washington nach Charleston, und Boston nach New-York zeigt, dafs die Voraussetzung einer Transmission durch den Erdboden mit einer constanten Geschwindigkeit die Uebereinstimmung der Beobachtungen nicht wesentlich erhöht. Wirklich liegt bei den Versuchen am 4. Febr. die einzige Anzeige einer Fortpflanzung durch den Erdboden in der Thatsache, dafs die aus den St. Louis-Beobachtungen hergeleitete Geschwindigkeit besser mit dem Mittel der übrigen Werthe in Uebereinstimmung gebracht werden kann, wenn man annimmt, die Signäle durchwanderten 1030 statt 1045 engl. Meilen. Der wahrscheinliche Fehler unserer Schätzung der Drahtlänge ist viel gröfser als dieses.

Die auf 920 Messungen beruhenden Fälle, bei denen der Weg durch den Boden der kürzere ist, belaufen sich auf 22. Die Geschwindigkeit, hergeleitet in der Annahme, dafs die Signäle durch den Boden wanderten, würde 11200 engl. Meilen in der Sekunde seyn.

Aus allen diesen Beobachtungen schliefse ich, dafs bei den St. Louis- und Washington-Versuchen, welche unter allen die günstigsten zur Darlegung der Erscheinungen sind, die Signäle in keinem Falle durch den Erdboden fortgepflanzt wurden.

Sonach haben wir uns möglichst bemüht, alle Fehlerquellen, welche nicht vermieden werden können, in Rechnung zu ziehen, und alle, welche zu vermeiden sind, zu umgehen. Unsere aus verschiedenen Daten erhaltenen Resultate stimmen so gut mit einander, um es sehr unwahrscheinlich zu machen, dafs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des durch eine galvanische Batterie in den Telegraphendrähten erregten elektrischen Zustandes gröfser als 20000, und kleiner als 12000 engl. Meilen in der Sekunde sey.

Aus der Combination aller Küsten-Vermessungs-Versuche mit dem elektromagnetischen Telegraph habe ich mich bemüht, ein Maafs der Geschwindigkeit abzuleiten, welches so zuverläfsig sey als es die Natur des Gegenstandes erlaubt. Der Temperatur-Unterschied an so aus einander

Digitized by Google

liegenden Stationen macht es unnütz eine Berichtigung wegen der Temperatur anzubringen, selbst wenn solche Verfeinerung von gleicher Gröfsenordnung mit den unvermeidlichen Fehlern unserer Messungen und, deshalb congruent mit deren Charakter wäre. Die Temperatur war in allen Fällen so niedrig wie der Frostpunkt; zu anderen Zeiten war die Isolation nicht vollkommen genug um eine Communication zwischen sehr entfernten Stationen zu erlauben. Die benutzten Entfernungen waren, nach Zusatz von zehn Procent, folgende in engl. Meilen:

Washington			
172	Philadelphia		
381	209	New-York	
850	469	260	Cambridge

Washington				
74	Harper's Ferry			
165	91	Cumberland		
309	235	144	Wheeling	
578	504	413	269	Cincinnati.

Washington nach Cambridge durch den Boden 380
Washington nach Cincinnati durch den Boden 403.

Die grofse Drahtlänge zwischen New-York und Philadelphia ist Folge der Entfernung, bis zu welcher die Linie den Hudson hinstreicht ehe sie einen Kreuzungsort findet.

Datum	Endpunkt.	Geschwindigkeit.	Wahrscheinliche Fehler.
1849 Jan. 23	Cambridge	18000	150
» Oct. 31	Cincinnati	18330	124
1850 Febr. 4	St. Louis	14900	10
» Febr. 5	Charleston	16856	

Als wahrscheinlichster Werth ergiebt sich die Geschwindigkeit zu 15890 engl. Meilen in der Sekunde.

Hrn. Walker's Versuche mit dem elektrochemischen Telegraph am 8. Juli 1850 gaben für die Geschwindigkeit zwischen Boston und New-York (220 Meilen) 13333 Meilen in der Sekunde [1]). Der Draht in Bain's Telegraph ist jedoch von anderer Dicke (*size*) als auf den übrigen Linien, und ist zur Verhütung der Oxydation überzogen. Dürfen wir annehmen, die Signäle seyen am 5. Februar

1) Astron. Journ. I. 105.

Digitized by Google

und 8. Juli durch den Boden fortgepflanzt, so würden wir respective die Geschwindigkeiten 10690 und 10820 engl. Meilen pro Sekunde erhalten.

Ungeachtet die verschiedenen Resultate einander wechselseitig bestätigen, und sogar, in Betracht der zahlreichen Hindernisse und Fehlerquellen, eine merkwürdige Uebereinstimmung zeigen, ist es dessungeachtet wahr, dafs die Beobachtungen noch besser dargestellt werden würden, wenn man annähme, die Geschwindigkeit sey verschieden in verschiedenen Theilen der Linie. Ist aber diese Annahme zuläfsig? Sie ist es, wenn wir voraussetzen dürfen, dafs die Geschwindigkeit von der Stromstärke abhängt, denn es waren an intermediären Stationen der Linie mehre Batterien eingeschaltet. Die kräftigste Batterie befand sich zu Pittsburg; sie bestand aus 50 Grove'schen Bechern, jeder von einer Pinte Gehalt. Der Vergleich der verschiedenen Geschwindigkeiten scheint anzudeuten, dafs die gröfste Fortpflanzungsgeschwindigkeit zwischen Pittsburg und Washington, so wie zwischen Pittsburg und Cincinnati stattfand; doch will ich hierauf gerade kein Gewicht legen. Um zu ermitteln, ob die Geschwindigkeit des Stroms dieselbe wäre, wenn zwischen der Signal- und Registrir-Station eine Batterie eingeschaltet würde, machte Hr. Walker eigends einen Versuch, wobei die Pittsburg-Signäle 10 Minuten lang fortgesetzt wurden, nachdem die Batterie zu Washington von ihrer Stelle zwischen der Boden-Verbindung und der Uhr nach einer zwischen der Uhr und Pittsburg gebracht worden war. Die Verschiedenheit der Fortpflanzungszeiten in diesen beiden Fällen war kaum wahrnehmbar, und rührte vermuthlich von den unvermeidlichen Fehlern der Ablesung her.

Acht Messungen auf den Pittsburg- und Cincinnati-Registern, wenn die Batterie nicht eingeschaltet war, gaben als Fortpflanzungszeit von Washington nach Pittsburg 0",03049. Bei Einschaltung der Batteire gaben 74 Messungen auf denselben Registern diese Zeit zu 0",03106.

Indefs liefert dieis keine Antwort auf die Frage, ob die

Digitized by Google

Geschwindigkeit eine Function der Stromstärke sey; denn diese Stärke kann schwerlich dadurch verändert werden, dafs man den Strom-Unterbrecher oder Registrir-Apparat von der einen auf die andere Seite der Batterie bringt.

Die zur Entwicklung des galvanischen Stroms erforderliche Zeit habe ich nicht in Rechnung gezogen, da sie, nach den Versuchen von Jacobi [1]), sicher eine Gröfse zweiter Ordnung ist, wenn man sie mit der Fortpflanzungszeit der elektrischen Kraft durch einen 1000 engl. Meilen langen Eisendraht vergleicht [2]).

Es giebt verschiedene Fälle, wo die Linie, welche die Uhrpause von der Signalpause trennt, der Uhrpause auf dem St. Louis-Register vorangeht, und der auf den Washington-Registern nachfolgt. Dieſs wurde zuerst von Hrn. Walker entdeckt [3]), welcher darin eine Anzeige sieht, dafs die durch Schliefsen und Oeffnen der Kette erregten Wellen in entgegengesetzten Richtungen fortlaufen und einander ohne Interferenz durchkreuzen. Da die Theorie Denen anstöfsig ist, welche die elektrischen Phänomene als Aeufserungen einer Polarkraft betrachten, so habe ich alle derartigen Fälle, die ich auffinden konnte, mit grofser Sorgfalt untersucht. In keinem derselben habe ich finden können, dafs der Abstand zwischen den Signalpausen auf den beiden Registern, auch nur approximativ, der Geschwindigkeit entspreche, welche der Vergleich derselben Register anzeigt. Das Intervall insgemein ist doppelt so grofs als es vermöge der Fortpflanzungszeit seyn würde. Ich bin genöthigt, die Erklärung des Phänomens aus einem ganz anderen Gesichtspunkt zu betrachten. Der St. Louis-Telegraphist drückte den Unterbrecher oft kurz hinter einander zwei Mal nieder; und es scheint, dafs, bei den in Rede stehenden Fällen, das Intervall zwischen diesen zwei consecutiven Signalpausen sehr nahe gleich war der Fort-

1) Pogg. Ann. Bd. 45 S. 23

2) Haldat, *Compt. rend. VI.* 52. De la Rive *Archiv. de l'Electr. III.* 288.

3) *Proceed. Americ. Assoc. Charleston* 1850 *p.* 124.

Digitized by Google

pflanzungszeit zwischen St. Louis und Washington, und dafs die eine Signalpause mit der Uhrpause zu St. Louis und die andere mit der Uhrpause zu Washington verwechselt wurde.

Zwei Umstände scheinen diese Ansicht zu unterstützen:

1) Die Länge der Uhrpause ist in allen diesen Fällen gröfser als der Mittelwerth und

2) Das Intervall zwischen der Uhr- und der Signalpause ist weder zu grofs noch zu klein, um dieser Hypothese zu entsprechen.

Es giebt verschiedene andere Punkte, welche ich gern erörtert haben würde; allein ich will mich darauf beschränken, eine einzelne sonderbare Thatsache anzuführen. Reducirt man die von Wheatstone für die Reibungs-Elektricität im Kupfer gefundene Geschwindigkeit auf Eisen, indem man sie multiplicirt mit dem Verhältnifs der Leitungsfähigkeiten beider Metalle, so erhält man für einen Eisendraht von demselben Durchmesser (1,75 Mllm.) bei der Temperatur 32° F. die entsprechende Geschwindigkeit 51096. Diese Geschwindigkeit steht zu der, welche wir gefunden, fast genau im umgekehrten Verhältnifs der Querschnitte der Leitungsdrähte.

Hoffentlich werden im künftigen Winter durch den Eifer des Oberaufsehers der Küsten-Vermessung und die Unermüdlichkeit des Hrn. Walker fernere Materialien eingesammelt. Das gröfsere Isolationsvermögen der Telegraphenstangen bei Frostwetter macht den Winter zur günstigsten Jahreszeit für die Anstellung solcher Versuche. Es ist ein Umstand, auf welchen wir Amerikaner gerechterweise stolz seyn dürfen, dafs, mit Ausnahme der von Mitchel und Fizeau, alle übrigen Telegraphenversuche zur Ausmittelung der Geschwindigkeit des galvanischen Stroms (eines für die Wissenschaft und für die Beurtheilung der Längenbestimmung durch telegraphische Beobachtungen so wichtigen Elements) unter der Superintendenz der Küsten-Vermessung der Union ausgeführt worden sind.

Bei künftigen Versuchen scheint es mir sehr wünschens-

Digitized by Google

werth, dafs zur Bewegung des die Aufzeichnung empfangenden Streifens oder Cylinders eine Maschine angewandt werde, die im Stande ist, mehre Zoll Papier pro Sekunde in einem leidlich gleichförmigen Gange zu liefern, dafs das Papier von möglichst feiner Beschaffenheit sey, und die Ajustirungen des Hubes und der Springfeder während der ganzen Dauer des Versuches unverändert bleiben. Auch sind fernere Versuche mit Bain's chemischem Telegraph wünschenswerth, sobald Mittel aufgefunden werden, um die Aufzeichnungen an jedem Ende der Linie durch eine und dieselbe Kette zu bewirken, was nicht unmöglich ist.

Die gewöhnlichen Telegraphendrähte haben, wie ich vernehme, eine solche Dicke, dafs eine engl. Meile 300 Pfd. wiegt. Die neue Linie, welche jetzt durch die Patent-Inhaber von House's wundervollem Druck-Telegraph zwischen Buffalo und New-York errichtet wird, besteht aus Drähten, welche 600 bis 800 Pfd. pro engl. Meile wiegen. Versuche auf dieser Linie würden von grofsem Nutzen seyn, indem sie bestimmen liefsen, ob die Geschwindigkeit sich mit dem Querschnitt des Leitungsdrahts verändere.

IV. *Ueber die Polarisation der Wärme durch einfache Refraction; von den HH. F. de la Provostaye und P. Desains.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXX. p.* 159.)

In einer früheren Arbeit [1]) haben wir die Reflexion der polarisirten Wärme an Glas untersucht, und dabei erkannt, dafs Fresnel's theoretische Formeln, gleichwie sie die Verhältnisse des reflectirten Lichts ausdrücken, auch bei der Wärme Resultate geben, die vom Versuch vollkommen

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXVII. p.* 109. (Auszugsweise in d. Ann. Bd. 78 S. 128 und 131.)

Digitized by Google

bestätigt werden. Da diese Formeln für einfach brechende Substanzen explicite oder implicite Alles einschliefsen müssen, was man über die Reflexion oder Refraction des Lichts und der Wärme, im natürlichen oder polarisirten Zustande, weifs, so hielten wir es für zweckmäfsig, ihnen bei der Wärme eine neue und weitere Bestätigung zu geben. Wir haben daher gesucht, aus ihnen die durch eine oder mehre Glasplatten unter irgend einer Neigung hindurchgehende Wärmemenge mathematisch abzuleiten, und haben die dadurch erhaltenen Formeln alsdann durch zahlreiche Beobachtungen geprüft. Sie bestätigen unsere früheren Resultate und vervollständigen sie, denn die in Rede stehenden Erscheinungen hängen zugleich von der Reflexion und der Refraction ab.

Die Lösung des ersten Falls, welchen wir behandeln, ist einleuchtend; allein es ist nöthig, ihn zu betrachten, um Ordnung in unsere Auseinandersetzung zu bringen.

Reflexion und Refration an der Trennungsfläche zweier Mittel.

Denken wir uns, es falle ein Lichtbündel [1]) unter dem Winkel i auf die ebene Oberfläche eines einfach brechenden Mittels, es sey in der Einfallsebene polarisirt und besitze die Intensität eins; endlich bezeichne R den Bruch $\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)}$, welcher nach Fresnel die reflectirte Lichtmenge ausdrückt. Die gebrochene Lichtmenge wird complementar und gleich $1-R$ seyn. Hier wird die Richtung der Schwingungen durch die Reflexion oder Refraction nicht geändert; folglich sind die beiden neuen Strahlen, wie der ursprüngliche, vollständig in der Einfallsebene polarisirt.

Wäre das auf die Fläche fallende Licht winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt, würde seine Intensität auch gleich eins genommen, und bezeichnete R' den Bruch $\frac{\tang^2(i-r)}{\tang^2(i+r)}$, welcher die Intensität des reflectirten Strahls

1) Was wir von dem Lichte sagen, gilt auch von der Wärme.

Digitized by Google

ausdrückt, so hätte man $1-R'$ für die Intensität des gebrochenen Strahls und die Strahlen R' und $1-R'$ würden beide vollständig winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt seyn.

Reflexion und Refraction durch eine Platte oder zwei parallele Flächen.

Nehmen wir den in der Einfallsebene polarisirten Strahl und betrachten ihn nach seinem Durchgang durch die erste Oberfläche, wo seine Intensität auf $1-R$ reducirt ist. Er wird nun auf die zweite Fläche der Platte fallen, hier ist der Einfallswinkel r, der Brechungswinkel i und der reflectirte Bruch wird $\frac{\sin^2(r-i)}{\sin^2(r+i)}=R$. Folglich kehrt die Gröfse $(1-R)R$ zur ersten Fläche zurück. Ein Theil, gleich $(1-R)^2R$ tritt aus und vereinigt sich mit einem unmittelbar vor aller Refraction reflectirten Theil; ein anderer Theil, gleich $(1-R)R^2$ wird reflectirt, und geht aufs Neue zur zweiten Fläche, und so fort. Summirt man die, an Zahl unendlichen Strahlen, welche von der Platte reflectirt werden, so findet man:

$$R+(1-R)^2R(1+R^2+R^4+\ldots)=\frac{2R}{1+R}.$$

Ebenso sieht man, dafs eine Summe $\frac{1-R}{1+R}$ von Strahlen zur Platte austritt; sobald man die Absorption vernachlässigt. Diese beiden Bündel, das reflectirte $\frac{2R}{1+R}$ und das durchgelassene $\frac{1-R}{1+R}$, sind beide vollständig in der Einfallsebene polarisirt.

Reflexion und Refraction durch eine Anzahl n paralleler Flächen.

Durch Fortsetzung einer analogen Schlufsfolgerung gelangt man dahin, die von n parallelen Flächen reflectirten

Digitized by Google

und durchgelassenen Lichtmengen zu bestimmen, und findet so, wenn man dieselbe Bezeichnung beibehält [1]).

Reflectirte Gesammtmenge. Einfallende Menge = 1.	Durchgelassene Gesammtmenge. Einfallende Menge = 1.
Licht oder Wärme, in der Einfallsebene polarisirt.	
(A) $\dfrac{nR}{1+(n-1)R}$	(B) $\dfrac{1-R}{1+(n-1)R}$
Licht oder Wärme, winkelrecht gegen die Einfallsebene polarisirt.	
(A') $\dfrac{nR'}{1+(n-1)R'}$	(B') $\dfrac{1-R'}{1+(n-1)R'}$

Vergessen wir nicht, dafs die Bündel (A) und (B) vollständig in der Einfallsebene, und die (A') und (B') vollständig winkelrecht auf dieser Ebene polarisirt sind.

Experimentelle Bestätigung.

Bei dieser Herleitung der Ausdrücke (A), (B), (A') und (B') haben wir die Diffussion und Absorption ver-

1) Die Formeln (A) und (B), (A') und (B') kann man beweisen, indem man zeigt, dafs wenn sie für $(n-1)$ Flächen richtig sind, sie es auch für n seyn müssen. Der ursprünglich in der Einfallsebene polarisirte Strahl nämlich, welcher, nachdem er durch $n-1$ Flächen gegangen ist, auf die n^{te} fällt, ist der Hypothese nach $= \dfrac{1-R}{1+(n-2)R}$, welchen Bruch wir gleich T setzen wollen. Der durch $n-1$ erste Fläche reflectirte Strahl ist $\dfrac{(n-1)R}{1+(n-2)R}$ und sey mit U bezeichnet. So findet man leicht, wenn man unendlich viele Reflexionen in Betracht zieht, dafs die durch die n^{te} Fläche gehende Lichtmenge ist:

$$\frac{T(1-R)}{1-UR} = \frac{T(1-R)[1+(n-2)R]}{1+(n-2)R-(n-1)R^2}$$
$$= \frac{T[1+(n-2)R]}{1+(n-1)R} = \frac{1-R}{1+(n-1)R}$$

Ebenso würde man die von n Flächen reflectirte Lichtmenge finden, allein man kann sich der directen Aufsuchung derselben überheben, denn sie ist zu $\dfrac{1-R}{1+(n-1)R}$ complementar und gleich $\dfrac{nR}{1+(n-1)R}$. Und dieſs war zu beweisen.

Digitized by Google

nachlässigt. Bei einem polirten Glase ist die Diffusion wohl wenig merklich; allein anders verhält es sich mit der Absorption, sie ist, bei der Wärme, oft sehr beträchtlich. Es ist uns gelungen, diese Schwierigkeiten zu beseitigen, indem wir 1) sehr reines und sehr dünnes Spiegelglas von St. Gobain nahmen, und 2) nur Wärme anwandten, die zuvor durch eine grofse Glasdicke gegangen war. Durch diese Vorsichtsmafsregeln ist es uns gelungen, den Wärmeverlust äufserst gering zu machen. Beweis davon ist, dafs wir, wenn wir die von einer oder mehren Platten reflectirten oder durchgelassenen Strahlen addirten, immer sehr nahe eine der directen Strahlung gleiche Wirkung erhielten. Um endlich die schon zu vernachläfsigenden Fehler noch mehr zu schwächen, nahmen wir zum Vergleichungspunkt, zur Einheit, nicht die Intensität der directen Strahlen, welche etwas zu stark gewesen seyn würde, sondern die Summe der Intensitäten der durchgelassenen und reflectirten Strahlen.

Die angewandte Wärme war die einer mit ihrem Schornstein versehenen Argand'schen Lampe. Ihre Strahlen fielen in 33 Centimet. Entfernung auf eine Glaslinse von etwa 14 Centimet. Brennweite; gleich darauf wurden sie gespalten durch ein achromatisches Kalkspathprisma, dessen Hauptschnitt, je nach dem Fall, horizontal oder vertical war. Eins der in einer bekannten Ebene polarisirten Bilder wurde mit einer zuvor zweckmäfsig geneigten Platte oder Glassäule aufgefangen, und der durchgelassene oder reflectirte Theil ging dann zur Säule des thermo-elektrischen Apparats. Die Ablenkungen des Galvanometers gaben das Maafs der Intensitäten.

Wir stellen die beobachteten Intensitäten den durch die Formeln gegebenen gegenüber, und nehmen dabei für das Glas von St. Gobain und für die angewandte Wärme den Brechungsindex $= 1{,}49$.

Digitized by Google

Wärme, in der Einfallsebene polarisirt.

Neigung der Platte oder Platten gegen die einfallenden Strahlen.	Intensität des durchgelassenen Strahls [1]) beobachtet	Intensität des durchgelassenen Strahls [1]) berechnet nach d. Formel $\frac{1-R}{1+(n-1)R}$
Versuche mit einer Platte.		
60° [2])	0,706	0,705
70	0,541	0,544
Versuche mit zwei Platten.		
60	0,542	0,544
70	0,370	0,374
Versuche mit drei Platten.		
50	0,586	0,583
60	0,439	0,444
70	0,282	0,285
Versuch mit vier Platten [3]).		
60	0,396	0,374

Wärme,

1) Oder vielmehr: Verhältnifs dieser Intensität zur Summe der Intensitäten der reflectirten und durchgelassenen Strahlen.

2) Man stellte die Platten so, dafs sie successive zur Rechten und zur Linken 60° mit der Richtung des Bündels machten, und nahm das Mittel aus den in beiden Stellungen erhaltenen Resultaten. Ebenso verfuhr man in allen übrigen Fällen.

3) Wenn man eine grofse Anzahl von Platten anwendete, oder der Glassäule eine starke Neigung gäbe, würde es sehr schwierig seyn, alle reflectirten Strahlen mit der thermo-elektrischen Säule aufzufangen. Der Versuch gäbe alsdann intermediäre Resultate zwischen den von unseren Formeln angezeigten und denen, welche man fände, wenn man nicht unendlich viele Reflexionen in Rechnung zöge.

Digitized by Google

Wärme, winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirt.

Neigung der Platte oder Platten gegen die einfallenden Strahlen.	Intensität des durchgelassenen Strahls: beobachtet	Intensität des durchgelassenen Strahls: berechnet nach d. Formel $\frac{1-R'}{1+(n-1)R''}$
	Versuche mit einer Platte.	
75°	0,802	0,806
	Versuche mit zwei Platten.	
75	0,676	0,675
	Versuche mit drei Platten.	
70	0,775	0,788
75	0,581	0,581

Natürliche Wärme. — Lothrechte Incidenz.

	Intensität des durchgelassenen Strahls: beobachtet	Intensität des durchgelassenen Strahls: berechnet
Eine Platte	0,92	0,92
Zwei Platten	0,855	0,857
Drei Platten	0,80	0,80
Vier Platten	0,73	0,75

Die Uebereinstimmung ist solche, dafs wir die Formeln (A), (B), (A') und (B') als vollständig durch den Versuch bestätigt ansehen können. Untersuchen wir jetzt einige der Folgerungen, zu denen sie führen können.

Theorem des Hrn. Arago über die Gleichheit der im reflectirten und im gebrochenen Strahl enthaltenen Mengen polarisirten Lichts.

Hr. Arago hat experimentell bewiesen, dafs wenn natürliches Licht auf eine *Glasplatte* mit parallelen Flächen fällt, beide Strahlen, der reflectirte und der durchgelassene, gleiche, gegen einander rechtwinklich polarisirte, Lichtmengen enthalten.

Andererseits sucht man in den Lehrbüchern denselben Satz theoretisch zu erweisen, indem man ihn aus den Fres-

Digitized by Google

nel'schen Formeln ableitet. Allein man hat es blofs für den Fall gethan, dafs die Reflexion und Refraction durch eine einzige Fläche hervorgebracht worden sey. Nun behauptet Brewster in dem *Philosophical Transact. f.* 1830 *p.* 145 [1]), dafs der von Hrn. Arago gegebene experimentelle Beweis nothwendig unrichtig sey, *weil, wenn der Satz für eine Fläche richtig ist, er es nicht für eine Platte seyn könne.* Mittelst Schlufsfolgerungen, deren Wiederholung hier überflüssig seyn würden, glaubt er festzustellen, dafs Hr. Arago zwei Lichtmengen für gleich gehalten habe, welche, in gewissen Fällen, das Doppelte, Dreifache und selbst Vierfache von einander seyn können. Die Folgerung ist seltsam, aber das Raisonnement ist unrichtig. Hr. Brewster berücksichtigt in seinen Rechnungen nur eine oder zwei Reflexionen; er vergifst, dafs es deren unendlich viele giebt. Nehmen wir die Frage in vollständiger Weise vor.

Fall einer Fläche [2]).

Natürliches Licht, welches auf eine Fläche fällt, kann betrachtet werden als bestehend aus zwei Bündeln von halber Intensität, polarisirt das eine in der Einfallsebene, und das andere winkelrecht darauf. Folglich ist die Gesammtmenge des reflectirten Lichts $= \frac{1}{2}(R + R')$, und die des gebrochenen $= \frac{1}{2}(1 - R) + \frac{1}{2}(1 - R')$.

Der Werth von R ist, wie auch i seyn möge, stets gröfser als der von R'; folglich ist im reflectirten Strahl das in der Einfallsebene polarisirte Licht vorherrschend. Das Umgekehrte gilt vom gebrochenen Strahl, weil $1 - R' > 1 - R$. Man kann also den ersten als aus zwei Theilen gebildet ansehen, einen in der Einfallsebene polarisirten $\frac{1}{2}(R - R')$, und einen andern R', der sich wie natürliches Licht verhält. Ebenso kann man den gebrochenen Strahl als bestehend ansehen aus $\frac{1}{2}(1 - R') - \frac{1}{2}(1 - R) = \frac{1}{2}(R - R')$ von Licht welches winkelrecht gegen die Refractionsebene polarisirt

1) Ann. Bd. XIX, S. 281.

2) Da die Rechnung für diesen Fall schon bekannt ist, so wiederholen wir sie hier nicht.

Digitized by Google

ist, und $1-R$ natürlichen Lichts. Hier ist also, wie man sieht, das Theorem einleuchtend.

Fall einer Platte.

Die von einer Platte reflectirte Lichtmenge mufs seyn:

$$\frac{R}{1+R}+\frac{R'}{1+R'},$$

und die durchgelassene

$$\tfrac{1}{2}\left(\frac{1-R}{1+R}+\frac{1-R'}{1+R'}\right).$$

Da R gröfser ist als R', so ist auch das Glied $\frac{R}{1+R}$, welches im reflectirten Licht den in der Einfallebene polarisirten Antheil vorstellt, gröfser als das Glied $\frac{R'}{1+R'}$, welches den winkelrecht darauf polarisirten Theil ausdrückt. Man kann daher die reflectirten Strahlen als bestehend ansehen aus einer Quantität $\frac{2R'}{1+R}$ natürlichen Lichts und einer Quantität:

$$(\alpha)\ \ldots\ \frac{R}{1+R}-\frac{R'}{1+R'}=\frac{R-R'}{(1+R)(1+R')}$$

von Licht, das in der Einfallsebene polarisirt ist.

Da ebenso $\frac{1-R'}{1+R'}$ gröfser ist als $\frac{1-R}{1+R}$, so kann man die durchgelassenen Strahlen betrachten als gebildet aus einer Quantität $\frac{1-R}{1+R}$ natürlichen Lichts und einer Quantität:

$$(\beta)\ \ldots\ \tfrac{1}{2}\left(\frac{1-R'}{1+R'}\right)-\tfrac{1}{2}\left(\frac{1-R}{1+R}\right)=\frac{R-R'}{(1+R)(1+R')}$$

eines winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirten Lichts.

Da die beiden Ausdrücke (α) und (β) gleich sind, so haben die Einwürfe des Hrn. Brewster durchaus keinen Grund.

Wir können nun weiter gehen und zeigen, dafs, wenn natürliches Licht auf eine Glassäule fällt, die in den durch-

Digitized by Google

gelassenen Strahlen enthaltene Menge von polarisirtem Licht gleich ist der in den reflectirten Strahlen vorhandenen.

Fall einer Glassäule.

Bezeichnen wir mit $\frac{1}{2}n$ die Zahl der Glasplatten, so dafs n eine gerade Zahl ist, welche die Anzahl der Oberflächen vorstellt. Dann hat man:

reflectirtes Bündel $\quad \frac{1}{2}\left[\frac{nR}{1+(n-1)R}+\frac{nR'}{1+(n-1)R'}\right]$

durchgelassenes Bündel $\frac{1}{2}\left[\frac{1-R}{1+(n-1)R}+\frac{1-R'}{1+(n-1)R}\right]$.

Die in dem ersten enthaltene polarisirte Lichtmenge ist

$$\frac{1}{2}\left[\frac{nR}{1+(n-1)R}-\frac{nR'}{1+(n-1)R'}\right]=\frac{\frac{1}{2}n(R-R')}{[1+(n-1)R][1+(n-1)R']}$$

und in dem zweiten

$$\frac{1}{2}\left[\frac{1-R'}{1+(n-1)R'}-\frac{1-R}{1+(n-1)R}\right]=\frac{\frac{1}{2}n(R-R')}{[1+(n-1)R][1+(n-1)R']}.$$

Mithin läfst sich das Theorem auf die allgemeinste Weise aussprechen.

Theorie der Glassäulen.

Die Theorie der Glassäulen liegt ganz in den Formeln

$$\frac{nR}{1+(n-1)R}\ \ldots\ (1); \qquad \frac{nR'}{1+(n-1)R'}\ \ldots\ (3)$$

$$\frac{1-R}{1+(n-1)R}\ \ldots\ (2); \qquad \frac{1-R'}{1+(n-1)R'}\ \ldots\ (4),$$

welche die reflectirten oder durchgelassenen Licht- oder Wärmemengen geben, je nachdem das einfallende Bündel in der Einfallebene oder in einer darauf winkelrechten Ebene polarisirt ist.

Wir wollen daraus ableiten: die Drehung der Polarisationsebene, welche eine Glassäule bewirkt, wenn man polarisirte Wärme auf dieselbe einfallen läfst; die totale Wärmemenge, welche reflectirt oder durchgelassen wird, wenn natürliche Wärme einfällt; und endlich die *absolute* und die *relative* Menge polarisirter Wärme, die in dem reflectirten und dem durchgelassenen Strahl enthalten ist.

Digitized by Google

Drehung der Polarisationsebene durch eine Glassäule, auf welche polarisirte Wärme einfällt.

Seyen α, φ und ψ die Winkel, welche die Ebene der ursprünglichen Polarisation und die Polarisationsebenen des reflectirten und des durchgelassenen Strahls mit der Reflexionsebene bilden, so findet man leicht mittelst der Gleichungen (1) und (2).

$$\text{tang}^2\varphi = \text{tang}^2\alpha\,\frac{R'}{R}\left[\frac{1+(n-1)R}{1+(n-1)R'}\right] \quad \ldots (5)$$

und mittelst (3) und (4)

$$\text{tang}^2\psi = \text{tang}^2\alpha\left(\frac{1-R'}{1+R}\right)\left[\frac{1+(n-1)R}{1+(n-1)R'}\right] \quad \ldots (6).$$

Da $\frac{R'}{R} = \frac{\cos^2(i+r)}{\cos^2(i-r)}$ kleiner als die Einheit ist, so ist leicht zu ersehen, dafs, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, die Polarisationsebene des reflectirten Strahls sich desto langsamer der Einfallsebene nähert, als die Säule eine gröfsere Anzahl von Platten enthält.

Die Relation (6), in welcher $\frac{1-R'}{1-R} = \frac{1}{\cos^2(i-r)}$ zeigt ebenso, dafs die Polarisationsebene des durchgelassenen Strahls sich desto schneller von der Refractionsebene entfernt, als die Anzahl der Platten gröfser ist.

Reflectirte und durchgelassene Licht- oder Wärmemengen, wenn natürliches Licht auf die Glassäule einfällt.

Wie schon gesagt, sind diese Gröfsen:

$$\tfrac{1}{2}\left[\frac{nR}{1+(n-1)R} + \frac{nR'}{1+(n-1)R'}\right] \quad \ldots (7)$$

$$\tfrac{1}{2}\left[\frac{1-R}{1+(n-1)R} + \frac{1-R'}{1+(n-1)R'}\right] \quad \ldots (8).$$

Aus (7) ergiebt sich leicht, dafs die reflectirte Lichtmenge mit der Anzahl der Platten wächst und, wenn diese Anzahl unendlich ist, gleich Eins wird, wie auch der Einfallswinkel seyn möge. Man mufs indefs als mathematischen Fall den Winkel der vollständigen Polarisation ausnehmen.

Digitized by Google

Absolute Mengen polarisirter Wärme in dem reflectirten und durchgelassenen Strahl, wenn natürliche Wärme einfällt.

Der Ausdruck:

$$\frac{\frac{1}{2}n(R-R')}{[1+(n-1)R][1+(n-1)R']} \quad \ldots \quad (9)$$

wurde schon erwähnt. Wir begnügen uns mit der Bemerkung, dafs ihm zufolge, für jede andere Incidenz als die der totalen Polarisation, die absolute Menge polarisirter Wärme abnimmt in dem Maafse als die Anzahl der Platten wächst.

Verhältnifs von polarisirter Wärme in dem reflectirten und dem durchgelassenen Strahl, wenn natürliche Wärme einfällt.

Diefs Verhältnifs ist in dem reflectirten Strahl

$$\frac{\frac{nR}{1+(n-1)R} - \frac{nR'}{1+(n-1)R'}}{\frac{nR}{1+(n-1)R} + \frac{nR'}{1+(n-1)R'}} = \frac{R-R'}{R+R'+2(n-1)RR'} \quad \ldots \quad (10)$$

und in dem durchgelassenen Strahl

$$\frac{\frac{1-R'}{1+(n-1)R'} - \frac{1-R}{1+(n-1)R}}{\frac{1-R'}{1+(n-1)R'} + \frac{1-R}{1+(n-1)R}} = \frac{n(R-R')}{2+(n-2)(R+R')-2(n-1)RR'} \quad (11).$$

Wir haben das Verhältnifs der im reflectirten Strahl enthaltenen Menge polarisirter Wärme direct bestimmt, indem wir uns auf folgende Betrachtungen stützten.

Sey p die im reflectirten Strahl enthaltene Menge polarisirter Wärme und n die natürliche Wärmemenge, so kann man man den Ausdruck (10) schreiben $\frac{p}{p+n}$. Um den Werth dieses Bruchs zu finden, mufs man p und n kennen. Dahin gelangt man nun, wenn man den totalen reflectirten Strahl $= p+n$ mit einem Kalkspath auffängt und dessen Hauptschnitt successive parallel und winkelrecht zur Reflexionsebene stellt. Im ersten Fall ist die durchgelassene Menge $= k(p+\frac{1}{2}n)$, im zweiten $= k.\frac{1}{2}n$.

Digitized by Google

Dividirt man den Unterschied der Ablenkungen durch die Summe, so erhält man $\frac{p}{p+n}$.

Es hat uns in diesem Sommer an Zeit und besonders an Sonnenschein gefehlt, um diese Prüfung in mehr als drei Punkten vorzunehmen. Bei Anwendung von Sonnenstrahlen haben wir folgende Verhältnisse von polarisirter Wärme gefunden.

	Beobachtet.	Berechnet mit dem Index 1,52.
bei 80°	0,393	0,396
» 75	0,574	0,587
» 70	0,75	0,76.

Vor Erörterung des Ausdrucks (11), welcher das Verhältnifs der im durchgelassenen Strahl enthaltenen polarisirten Wärme giebt, wollen wir das in Erinnerung bringen, was sich hierüber in den Abhandlungen von Melloni vorfindet [1]). Es sind folgende Sätze:

1) Das Verhältnifs der von Säulen (durch Transmission) polarisirten Wärme ist desto gröfser, als der Winkel, unter welchem die Strahlen ihre Oberfläche treffen, kleiner ist.

2) In Säulen aus einer hinreichenden Zahl von Platten erreicht die Wärmepolarisation bei einem gewissen Neigungswinkel einen Maximum-Effect, welchen sie hernach bei allen kleineren Neigungen, welche die Strahlen mit den Platten bilden können, bewahrt.

3) Die Neigung, (immer gezählt von der Oberfläche) bei welcher der unveränderliche Effect sich zu zeigen anfängt, wächst mit der Zahl der Platten, aus welcher die Säule besteht.

Folgendes sind unsere Sätze:

Erster. — Wenn die Säule auf eine einzige Platte reducirt ist, wächst die polarisirte Licht- oder Wärme-Proportion [2])

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. II. T. LXV. p.* 30.

2) Wir müssen bemerken, dafs wir hier den Ausdruck *polarisirte Wärme-Proportion* im gewöhnlichen Sinne nehmen, in dem von Fresnel und von den meisten Physikern gebrauchten. Hr. Melloni giebt eine andere Definition, hinsichtlich deren wir auf die *Ann. de chim. et de phys. Ser. II. T. LXV. p.* 26 verweisen.

Digitized by Google

in dem durchgelassenen Strahl bis zum Winkel $i = 90°$, gezählt von der Normale. Bezeichnet λ den Index, so ist sie dann $\frac{\lambda^2-1}{\lambda^2+1} = 0{,}3958$ für $\lambda = 1{,}52$.

Zweiter. — Diese Proportion ist für $i = 90°$ immer dieselbe, wie grofs auch die Anzahl der Platten sey.

Dritter. — Sobald man eine aus mehren Platten gebildete Säule anwendet, hat die polarisirte Wärme-Proportion in dem durchgelassenen Strahl ein wahrhaftes Maximum. Dieses Maximum liegt

für zwei Platten bei $i = 77° 51'$
» drei » » $i = 74° 41'$
» zehn » » $i = 64° 52'$.

Für zehn Platten beträgt das Maximum-Verhältnifs 0,7028.

Vierter. — In dem Maafse als man die Zahl der Platten vermehrt, nähert sich der Winkel, bei welchem die polarisirte Proportion ein Maximum ist, immer mehr dem Winkel der vollständigen Polarisation, und das Maximum selbst immer mehr der Einheit.

Hier den Beweis dieser Sätze:

In dem durchgelassenen Strahl wird die polarisirte Wärme-Proportion gegeben durch den Bruch:

$$\frac{n(R-R')}{2+(n-2)(R+R')-2(n-1)RR'}.$$

Zur Abkürzung wollen wir ihn mit P bezeichnen. Sey

$$\sin^2(i-r) = x^2;\ \sin^2(i+r) = y^2$$

so kann man schreiben:

$$R = \frac{x^2}{y^2};\quad R' = \frac{x^2(1-y^2)}{y^2(1-x^2)}.$$

Nach Substitution, Reduction und Fortschaffung des dem Nenner und Zähler gemeinschaftlichen Factors $y^2 - x^2$ findet man

$$P = \frac{nx^2y^2}{2(y^2-x^2)+nx^2(2-y^2)} \quad \ldots \quad (1).$$

Für $n = \infty$ reducirt sich P auf $\frac{y^2}{2-y^2} = \frac{\sin^2(i+r)}{2-\sin^2(i+r)}$,

Digitized by Google

dessen Maximum dem Werthe $i+r=90°$ d. h. dem Winkel der vollständigen Polarisation entspricht, und gleich eins ist. Hierdurch ist der vierte Satz bewiesen.

Für $i=90°$ hat man $y=x$. In diesem Fall, und wie auch n seyn möge, reducirt sich also der Werth von P auf $\frac{y^2}{2-y^2}$. Bezeichnet man den Index mit λ, so hat man für $i=90°$

$$\sin r=\frac{1}{\lambda},\ y^2=\sin^2(90+r)=\cos^2 r=\frac{\lambda^2-1}{\lambda^2}.$$

Der Bruch $\frac{y^2}{2-y^2}$ wird $\frac{\lambda^2-1}{\lambda^2+1}$. Diefs rechtfertigt den zweiten Satz.

Um weiter zu gehen, nehmen wir mit dem durch die Gleichung (1) gegebenen Werth von P eine neue Transformation vor. Wir setzen

$$\sin i=u;\ \sin r=v$$

dann hat man:

$$x=uV\overline{1-v^2}-vV\overline{1-u^2};\ y=uV\overline{1-v^2}+vV\overline{1-u^2}$$

woraus

$$x^2y^2=(u^2-v^2)$$
$$y^2-x^2=4uvV\overline{1-u^2}\,.\,V\overline{1-v^2}$$
$$2x^2-x^2y^2=2(u^2+v^2)-(u^2+v^2)^2-4uvV\overline{1-u^2}\,.\,V\overline{1-v^2}.$$

Durch Substitution in (1) findet man:

$$P=\frac{n(u^2-v^2)^2}{n(u^2+v^2)[2-(u^2+v^2)]-(n-2)4uvV\overline{1-u^2}\,.\,V\overline{1-v^2}}$$

und da $v=\frac{u}{\lambda}$, so hat man, nach Substitution und Reduction, die Gleichung (2)

$$P=\frac{nu^2(\lambda^2-1)^2}{n(\lambda^2+1)[2\lambda^2-u^2(\lambda^2+1)]-(n-2)4\lambda^2V\overline{1-u^2}\,.\,V\overline{\lambda^2-u^2}}.$$

Wenn $n=2$, verschwindet das zweite Glied des Nenners; nun wächst u^2 mit i, folglich nimmt der Zähler zu und der Nenner ab in dem Maafse als sich u der Einheit nähert. Für $i=90°$, ist $u=1$ und $P=\frac{\lambda^2-1}{\lambda^2+1}$, was wir in dem ersten Satz ausgesprochen haben.

Digitized by Google

Wenn $n > 2$ giebt es ein Maximum. Differentirt man (2) und setzt den Differentialquotienten gleich Null, so findet man, dafs es statt hat, wenn:

$$n(\lambda^2+1)\sqrt{1-u^2}\sqrt{\lambda^2-u^2} = (n-2)[2\lambda^2-u^2(\lambda^2+1)] \quad (3)$$

und folglich, dafs der Maximum-Werth ist:

$$\frac{n^2u^2(\lambda^2+1)(\lambda^2-1)^2}{[n(\lambda^2+1)^2-4\lambda^2(n-2)^2][2\lambda^2-u^2(\lambda^2+1)]} \quad \ldots \quad (4).$$

Der dem Maximum entsprechende Werth von u ist durch die biquadratische Gleichung (3) gegeben. Ersetzt man darin n und λ durch particuläre Zahlenwerthe, so erhält man eine Gleichung, die den dem Maximum entsprechenden Werth von u oder $\sin i$ kennen lehrt. Auf diese Weise hat man die in dem dritten Satz angezeigten Winkel gefunden.

Parallele oder gekreuzte Glassäulen.

Wenn ein Bündel natürlicher Wärme, mehr oder weniger geneigt, auf eine Glassäule fällt, kann, wie wir gesehen, die Intensität des ausfahrenden Strahls durch $\frac{1}{2}(\varrho+\varrho')$ dargestellt werden, wenn man setzt:

$$\frac{1-R}{1+(n-1)R} = \varrho \text{ und } \frac{1-R'}{1+(n-1)R'} = \varrho'.$$

Auch haben wir gesagt, dafs der darin enthaltene Antheil polarisirter Wärme ausgedrückt wird durch $\frac{\varrho'-\varrho}{\varrho'+\varrho}$.

Um den Werth dieses letzteren Verhältnisses zu bestimmen, kann man folgende Methode anwenden.

Man stelle hinter der ersten Glassäule, nicht im Contact mit ihr, sondern in einiger Entfernung, eine zweite, ihr vollkommen ähnliche unter gleicher Neigung auf und gebe den Refractionsebenen successive die parallele und die gegen einander winkelrechte Lage. In der ersten Lage wird die durch beide Säulen gehende Wärmemenge seyn: $\frac{1}{2}(\varrho^2+\varrho'^2)$; in der zweiten: $\varrho\varrho'$. Dividirt man den Unterschied dieser Gröfsen durch ihre Summe, so erhält man $\left(\frac{\varrho'-\varrho}{\varrho'+\varrho}\right)^2$, wovon die Quadratwurzel der gesuchte Ausdruck

Digitized by Google

ist, welcher kennen lehrt, wie grofs in dem zur ersten Säule ausfahrenden Bündel das Verhältnifs der polarisirten Wärme $\frac{1}{2}(\varrho' - \varrho)$ zur gesammten Wärme $\frac{1}{2}(\varrho' + \varrho)$ ist.

Reflexion und Refraction der Wärme und des Lichtes durch parallele Trennungsflächen mehrer in Contact stehender Mittel von verschiedener Natur.

Wir haben hier besonders die zwischen sehr dünne Glasplatten eingeschlossenen Flüssigkeiten im Auge, wollen indefs zunächst die allgemeinen Formeln angeben.

Wir nehmen die Fresnel'schen Formeln an und setzen folglich voraus, dafs sie für den Fall gelten, wo das Licht aus einem Mittel in ein anderes übergeht, sobald man in der Relation zwischen den Winkeln des Einfalls und der Brechung einen zweckmäfsigen Index annimmt. Wir bezeichnen wieder mit R und R' die Werthe, welche die Brüche:

$$\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)} \text{ und } \frac{\tang^2(i-r)}{\tang^2(i+r)}$$

an der ersten Oberfläche annehmen, und durch:

$$R,\ R_1,\ R_2,\ R_3\ \ldots\ .$$
$$R',\ R_1',\ R_2',\ R_3'\ \ldots\ .$$

was aus diesen Brüchen an den folgenden Flächen wird:

Ohne Schwierigkeit findet man:

Licht oder Wärme, in der Einfallsebene polarisirt.

Reflectirt von zwei Flächen: $\frac{R+R_1-2RR_1}{1-RR'}$.

Durchgelassen von zwei Flächen: $\frac{(1-R)(1-R_1)}{1-RR_1}$.

Reflectirt von drei Flächen:

$$\frac{R+R_1+R_2-2(RR_1+RR_2+R_1R_2)+3RR_1R_2}{1-(RR_1+RR_2+R_1R_2)+2RR_1R_2}.$$

Durchgelassen von drei Flächen:

$$\frac{(1-R)(1-R_1)(1-R_2)}{1-(RR_1+RR_2+R_1R_2)+2RR_1R_2}.$$

Setzt man alsdann

$$R+R_1+R_2+\ \ldots\ .\ +R_{n-1}=\Sigma R.$$

Digitized by Google

Die Summe der Combinationen zu zweien

$$RR_1+RR_2+\ldots+RR_{n-1}+R_1R_2+\ldots=\Sigma RR_1.$$

Die Summe der Combinationen zu dreien

$$RR_1R_2+RR_1R_3+\ldots RR_1R_{n-1}+R_1R_2R_3+\ldots=\Sigma RR_1R_2$$

so findet man

die von n Flächen reflectirte Menge (1)

$$\frac{\Sigma R-2\Sigma RR_1+3\Sigma RR_1R_2-4\Sigma RR_1R_2R_3+..\pm nRR_1..R_{n-1}}{1-\Sigma RR_1+2\Sigma RR_1R_2-3\Sigma RR_1R_2R_3+..\pm(n-1)RR_1R_2..R_{n-1}}.$$

Die von n Flächen durchgelassene Menge (2)

$$\frac{(1-R)(1-R_1)(1-R_2)\ldots(1-R_{n-1})}{1-\Sigma RR_1+2\Sigma RR_1R_2-3\Sigma RR_1R_2R_3+..\pm(n-1)RR_1R_2..R_{n-1}}.$$

Wäre das einfallende Licht winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirt, würden die Formeln genau von derselben Form seyn. Nur müfste in (1) und (2) R, $R_1..R_{n-1}$ durch R', $R'_1..R'_{n-1}$ ersetzt werden.

Macht man in den beiden ersten Formeln

$$R=R_1=R_2=\ldots=R_{n-1}$$

und in den beiden letzten

$$R'=R'_1=R'_2=\ldots=R'_{n-1}$$

so kommt man auf die Ausdrücke zurück, die eingangs dieser Abhandlung für parallele, durch Luftschichten getrennte Glasplatten gegeben wurden.

Im Fall man eine zwischen zwei Glasplatten eingeschlossene Flüssigkeit betrachtet, hat man:

$$R_3=R,\quad R_2=R_1$$
$$R'_3=R',\quad R'_2=R'_1$$

Ist das einfallende Licht in der Einfallsebene polarisirt, so wird die durchgelassene Menge

$$\frac{(1-R)^2(1-R_1)^2}{1-4RR_1-R^2-R^2_1+4RR^2_1+4R^2R_1-3R^2R^2_1}.$$

Will man endlich die Licht- oder Wärmemenge bestimmen, die, abgesehen von der Absorption, bei lothrechter Incidenz vom Wasser durchgelassen wird, so setze man

$$R=\frac{1}{25}=0{,}04,\quad R_1=\frac{1}{289}=0{,}0034671$$

Digitized by Google

und nach gemachter Substitution findet man dann für die durchgelassene Menge 0,917. Daraus folgt, dafs man die an den Berührungsflächen von Glas und Wasser stattfindenden Reflexionen vernachlässigen kann, und nur diejenigen zu berücksichtigen braucht, welche an der Ein- und Austrittsfläche erfolgen.

Da bei allen Flüssigkeiten die Gröfse R_1, welche an der Trennungsfläche zwischen ihnen und dem Glase reflectirt wird, sehr klein ist, so gelangt man auch für alle zu einem ähnlichen Schlufs.

V. *Ueber die Reflexion der Wärme; von F. de la Provostaye und P. Desains.*

(Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXX. 276.)

In einer der Academie am 19. April 1847 vorgelegten Abhandlung haben wir gezeigt, in welchen Verhältnissen die Strahlen einer Locatelli'schen Lampe von einer grofsen Anzahl verschiedener Metalle reflectirt werden. In einer anderen Mittheilung haben wir dargethan, dafs, den herkömmlichen Meinungen zuwider, das Reflexionsvermögen eines bestimmten Spiegels sich mit der Natur der Quelle verändern kann. Später haben wir die Reflexion der gesammten Sonnenwärme, nachdem sie durch Kalkspäthe polarisirt worden, untersucht und gezeigt, dafs die Formeln von Fresnel beim Glase, und die von Cauchy bei den Metallen alle Phänomene der Wärme eben so gut wie die des Lichtes ausdrücken. Gegenwärtig wollen wir das Resultat der zahlreichen Versuche aus einander setzen, welche wir angestellt, um unsere Forschungen über diesen wichtigen Punkt der strahlenden Wärme zu erweitern und zu vervollständigen. Wir haben uns vorgenommen:

Digitized by Google

1. Die Reflexion der Wärme zu studiren, welche die durch Dispersion möglichst vereinfachten Sonnenstrahlen begleitet.

2. Analoge Versuche, wie wir bereits über die Sonnenwärme veröffentlicht haben, mit polarisirter Lampenwärme anzustellen.

3. Eine Erklärung zu suchen, weshalb Wärmestrahlen von gleicher Intensität, aber von verschiedener Herkunft, an einem und demselben Spiegel Reflexionen von ungleicher Gröfse erleiden.

Reflexion von homogenen Sonnenstrahlen.

Wir haben geglaubt mit Sonnenstrahlen von vollkommen bestimmtem Brechungsindex die Versuche wiederholen zu müssen, welche wir bereits über die Reflexion der gesammten und polarisirten Sonnenwärme anstellten. Bei diesen Versuchen haben wir meistens Spiegel von Platin oder Spiegelmetall, zuweilen einen von Stahl angewandt, und Strahlen vom rothen Ende eines intensiven Spectrums genommen, welches so rein war, dafs man die Fraunhofer'schen Linien deutlich unterscheiden konnte. Der polarisirende Apparat bestand, wie früher, aus einem achromatischen Kalkspathprisma. Wir geben hier die erhaltenen Resultate.

Wärme vom rothen Ende des Spectrums, polarisirt parallel der Einfallsebene.

Einfallswinkel.	Intensität der Reflexion an		
	Stahl.	Spiegelmetall.	Platin.
30°		0,65	0,65
50		0,74	0,72
70			
72½		0,87	
76			0,856

Wärme vom rothen Ende des Spectrums, winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirt.

30°	0,53	0,62	0,588
50		0,577	0,51
70	0,266		0,427
72½		0,426	
76			0,40
80		0,446	

Digitized by Google

Beim Spiegelmetall und Stahl können die Zahlen als identisch betrachtet werden mit denen, welche wir im vorigen Jahr mit der gesammten Sonnenwärme erhalten haben. Diese unerwartete Thatsache findet ihre Erklärung im Verlauf dieser Abhandlung, allein für jetzt kann man sich merken, dafs daraus eine neue Bestätigung der Genauigkeit hervorgeht, mit welcher die Formeln des Hrn. Cauchy die Phänomene der Wärmereflexion darstellen [1]). Was die beim Platin erhaltenen Zahlen betrifft, so übersteigen

1) Wir halten es nicht für überflüssig, hier diese Formeln anzuführen. Seyen J^2 und I^2 die Intensitäten des reflectirten Lichts, je nachdem es in der Einfallsebene oder winkelrecht darauf polarisirt ist, dabei die des einfallenden Strahls gleich eins gesetzt. Man kann I^2 und J^2 in Function des Einfallswinkels und zweier Constanten ϑ und ε bestimmen, mittelst der folgenden Relationen:

$$(1)\ \ldots\ I^2 = \operatorname{tang}(\varphi - 45^\circ); \qquad (2)\ \ldots\ J^2 = \operatorname{tang}(\chi - 45^\circ)$$

$$(3)\ \ldots\ \cot\varphi = \cot(2\varepsilon - v)\sin\left(2\operatorname{arc\,tang}\frac{U}{\vartheta^2\cos i}\right)$$

$$(4)\ \ldots\ \cot\chi = \cos v \sin\left(2\operatorname{arc\,tang}\frac{\cos i}{U}\right)$$

$$(5)\ \ldots\ \cot(2v - \varepsilon) = \cot\varepsilon\cos\left(2\operatorname{arc\,tang}\frac{\sin i}{\vartheta}\right)$$

$$(6)\ \ldots\ \vartheta^2\sin 2\varepsilon = U^2\sin 2v.$$

Wir haben es bisweilen vortheilhaft gefunden, sie zu transformiren und auf die folgenden vier Relationen zu reduciren:

$$(1)\ \ldots\ J^2 = \frac{U^2 + \cos^2 i - 2U\cos i\cos v}{U^2 + \cos^2 i + 2U\cos i\cos v}$$

$$(2)\ \ldots\ I^2 = \frac{U^2 + \vartheta^4\cos^2 i - 2U\vartheta^2\cos i\cos(2\varepsilon - v)}{U^2 + \vartheta^4\cos^2 i + 2U\vartheta^2\cos i\cos(2\varepsilon - v)}$$

$$(3)\ \ldots\ U^2 = \vartheta^2\frac{\sin 2\varepsilon}{\sin 2v}$$

$$(4)\ \ldots\ \operatorname{tang} 2v = \frac{\vartheta^2\sin 2\varepsilon}{\vartheta^2\cos 2\varepsilon - \sin^2 i},$$

welche meistens und besonders, wenn i nicht zu grofs ist, so geschrieben werden können

$$U = \vartheta; \quad v = \varepsilon$$

$$J^2 = \frac{\vartheta^2 + \cos^2 i - 2\vartheta\cos\varepsilon\cos i}{\vartheta^2 + \cos^2 i + 2\vartheta\cos\varepsilon\cos i}; \qquad I^2 = \frac{\vartheta^2\cos^2 i + 1 - 2\vartheta\cos\varepsilon\cos i}{\vartheta^2\cos^2 i + 1 + 2\vartheta\cos\varepsilon\cos i}.$$

Digitized by Google

sie im Allgemeinen bei weitem die, welche wir für die das weifse Licht begleitende Wärme erhalten haben. Diese Unterschiede rühren ohne Zweifel nicht von der Natur der Wärme, sondern von dem Zustand der angewandten Spiegel her. Derjenige, der zu unseren letzten Versuchen diente, war von massivem ziemlich schön polirtem Platin; der andere dagegen war von platinirtem Kupfer und er zeigte viele Diffusion. In der Abhandlung, auf welche wir hier verweisen [1]) haben wir bereits die Unvollkommenheit dieses Platinspiegels hervorgehoben, allein es stand uns damals kein anderer zu Gebote.

Die Versuche, welche wir nun anführen wollen, beabsichtigen zu sehen, wie sich das Reflexionsvermögen eines Metalls bei gleichbleibender Incidenz verändert, wenn man den Grad der Brechbarkeit der Strahlen variirt.

Unpolarisirte Wärme, reflectirt beim Einfallswinkel 70°.

Strahlen vom	Intensität der Reflexion an				
	Stahl.	Platin.	Zink.	Spiegel-metall	Mes-sing.
grünen Theil des Spectrums		0,59	0,65	0,58	0,63
rothen Theil		0,60	0,60	0,65	0,75
dunklen Theil, weit ab vom Roth	0,75				0,90

Auf blofsen Anblick dieser Tafel bemerkt man, dafs bei gewissen Metallen, z. B. Messing, die Intensität der Reflexion sich sehr mit dem Grade der Brechbarkeit der angewandten Strahlen verändert. Bei anderen dagegen, beim Stahl und Platin z. B., werden Strahlen von allen Theilen des sichtbaren Spectrums in gleichem Verhältnifs reflectirt; allein man sieht auch, dafs trotz dieser Unterschiede, bei allen den von uns studirten Spiegeln die Reflexion sehr zunimmt, sobald man Wärmestrahlen anwendet, die aus dem dunklen Theil des Spectrums, in beträchtlicher Entfernung vom Roth genommen worden sind.

Erinnert man sich nun, um das beobachtete Phänomen mit

1) *Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXVII. p.* 124.

Digitized by Google

mit dem entsprechenden der Optik zu vergleichen, der Abhandlung, worin Hr. Jamin nachweist, in welchem Verhältnifs die Lichtstrahlen aus verschiedenen Theilen des Spectrums an verschiedenen Metallen reflectirt werden, so sieht man wiederum jene Identität bestätigt, der man rücksichtlich der Theorie des Lichts und der der Wärme auf allem und jedem Schritt begegnet. Hr. Jamin nämlich hat unter anderen folgende Resultate erhalten:

	Intensität der Lichtreflexion an		
	Spiegelmetall.	Messing.	Zink.
Grüne Strahlen	0,62	0,62	0,62
Rothe Strahlen	0,69	0,72	0,58

Die Unterschiede zwischen diesen und den unserigen Zahlen sind nur gering und sie verwischen keineswegs die vollständige Aehnlichkeit beider Phänomene.

In dem durch unsere Apparate gebildeten Spectrum lag das Wärmemaximum nach dem rothen Ende hin. In dem Blau und der entsprechenden dunklen Zone war die Wärme-Intensität nur schwach. Sobald also das Reflexionsvermögen des Spiegels sich nicht sehr rasch mit dem Brechbarkeitsgrade der Strahlen veränderte, mufste es für die gesammte Wärme und für die das Roth begleitende gleich seyn. Diefs war, wie wir oben gezeigt haben, beim Stahl und Spiegelmetall der Fall; allein man begreift, dafs es bei anderen Metallen anders seyn könnte.

Polarisation und Reflexion der Wärme von Lampen mit doppeltem Luftzug.

Es schien uns interessant mit Lampenwärme die Versuche zu wiederholen, welche wir mit Sonnenwärme angestellt hatten. Die erste Schwierigkeit war hier die, mit solchen Wärmequellen Bündel von wenig divergirenden und vollständig polarisirten Strahlen zu erhalten, die hinreichend stark seyen, um mefsbare Wirkungen am Thermoskop zu geben. Wir sind dahin auf folgende Weise

Digitized by Google

gelangt. Eine gute Moderator-Lampe wurde $0^m,34$ entfernt von einer etwas grofsen Linse von $0^m,17$ Brennweite aufgestellt, und dicht hinter der Linse ein Kalkspathprisma von etwas enger Oeffnung angebracht, das in dem Abstande von $0^m,27$ zwei völlig getrennte Bilder gab. Das eine derselben wurde vernachlässigt, das andere aber mit der Säule aufgefangen, entweder direct oder nach der Reflexion. Bei unseren Versuchen war die Wärme-Intensität dieses Bildes grofs genug, um vor der Reflexion eine Ablenkung von 20 bis 25 Abtheilungen in unserem thermoskopischen Apparat hervorzubringen. Folgende Tafel enthält die Resultate, zu denen wir gelangten.

Wärme der Lampe mit doppeltem Luftzug, parallel der Einfallsebene polarisirt.

Einfallswinkel	Reflectionsvermögen des Spiegelmetalls.	Stahls.	Platins.	Zinns.	Zinks.	Silbers.	Messings.
30°	0,70; 0,73	0,69	0,677; 0,698	0,69	0,685		0,875
50	0,765; 0,78	0,77	0,77; 0,77				0,88
60	0,82			0,785			
70	0,847; 0,86	0,87	0,837	0,837			0,887
76	0,885; 0,895	0,90	0,865	0,888	0,835	0,98	0,895

Dieselbe Wärme, winkelrecht auf der Einfallsebene polarisirt.

30°	0,665; 0,70	0,62	0,655; 0,685	0,634	0,675		0,81
50	0,624; 0,65	0,55	0,62; 0,648	0,62	0,655		0,788
60	0,60			0,60			
70	0,50; 0,52	0,42	0,527	0,545	0,60		0,733
76	0,425; 0,46	0,55	0,44; 0,46	0,495	0,555	0,859	0,72

Man findet hier immer bei dem Phänomen denselben allgemeinen Gang. Bei der in der Einfallsebene polarisirten Wärme nimmt die Gröfse der Reflexion mit dem Winkel zu. Bei der darauf winkelrecht polarisirten Wärme nimmt sie ab bis 76°. Es war uns nicht möglich bei stärkeren Incidenzen zu beobachten; sonst würden wir ohne Zweifel die Intensität von Neuem haben wachsen sehen. Das Reflexionsvermögen des Messings variirt wenig mit der Incidenz. Das Platin nähert sich sehr dem Stahl und Zinn. Ueberall sind die Reflexionen intensiver als bei der ge-

Digitized by Google

sammten Sonnenwärme. Versucht man endlich die Beobachtungen durch Hrn. Cauchy's Formeln darzustellen, so gelingt dies beim Stahle immer ohne alle Mühe; allein bei den übrigen Metallen kommt man nicht zu so befriedigenden Resultaten. Der Homogenitätsmangel der angewandten Wärme und die Unvollkommenheit der Politur, welche, Stahl und Bronze abgerechnet, die Metalle annehmen, sind hinreichend den Unterschied zu erklären. Die letztere Ursache ist sehr einflufsreich; es entspringt daraus eine Diffusion, welche die Intensität der regelmäfsigen Reflexion, besonders bei kleinen Incidenzen, verringert.

Wir fügen hinzu, dafs bei Anwendung von Lampen mit Zugröhren, die Stellung dieser und die gröfsere oder geringere Höhe des Dochts die Bedingungen zur Verbrennung abändern, und in der Natur der Wärme Veränderungen herbeiführen, welche entsprechende in der Gröfse der Reflexion nach sich ziehen. Bei successiven Versuchen mit einem und demselben Metall mufs man also darauf sehen, die Flamme in identische Umstände zu versetzen; sonst erhält man etwas abweichende Reihen, wie wir sie bei dem Platin und dem Spiegelmetall angegeben haben.

Von den Verschiedenheiten des Reflexionsvermögens eines und desselben Metalls für Wärmestrahlen aus verschiedenen Quellen.

Die Zahlen in der Tafel des vorhergehenden Abschnitts geben durch das einfache Mittel die Reflexionsvermögen der angewandten Metalle für die natürliche Wärme der Moderator-Lampe. Wir setzen sie hieher, unter Hinzufügung des direct bestimmten von sehr glänzender Silberplattirung.

Natürliche Wärme der Lampe.

Einfallswinkel.	Reflexionsvermögen des Spiegelmetalls.	Stahls.	Platins.	Zinns.	Zinks.	Silbers.	plattirt Silbers.	Messings.
30°	0,68; 0,71	0,655	0,666; 0,69	0,662	0,68		0,96	0,84
50	0,695; 0,71	0,66	0,695; 0,71					0,835
60	0,71			0,692				
70	0,673; 0,69	0,645		0,691			0,97	0,81
76	0,655; 0,68	0,72	0,652	0,691	0,695	0,92		0,817

Digitized by Google

Man sieht: 1) dafs zwischen 30° und 76° der Werth des Einfallswinkels nur wenig Einfluſs auf die Gröfse der Reflexion hat; 2) dafs hier alle Zahlen gröfser sind als die entsprechenden bei der Sonnenwärme, und kleiner als die bei der Locatellischen Lampe. Eine noch gröfsere Reflexion erhielten wir, als wir eine Lampe mit gesalzenem Alkohol als Wärmequelle nahmen. Die Wärme dieser Lampe scheint nicht homogen zu seyn, aber in der Gesammtheit genommen reflectirt sie sich an Messing, Stahl und Platin im Verhältniſs 94, 88 und 86 zu 100. Endlich reflectirt Messing 94,5 und Platin 89,5 Proc. von der dunklen Wärme, welche eine bis etwa 400° C. erhitzte Kupferplatte aussendet. Diese Resultate zeigen, übereinstimmend mit den vorhergehenden, dafs, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle, das Reflexionsvermögen der Metalle für die von ihr ausgesandten Strahlen desto beträchtlicher ist.

Den obigen Beobachtungen zufolge, wächst die Intensität der Reflexion für die aus dem dunklen Theil des Sonnen-Wärmespectrums genommenen Strahlen rasch, so wie die Gegend, aus der man sie abscheidet, sich vom Roth entfernt. Wir haben sie beim Messing sogar einen fast eben so grofsen Werth annehmen sehen, wie diese Legirung für die Wärme der Locatellischen Lampe zeigt.

Vergleicht man diese Resultate, so kann man sich nicht enthalten, darin eine Bestätigung der Ansicht zu erblicken, dafs die Wärme aus Quellen von niederer Temperatur ganz gebildet ist aus Strahlen, die den wenigst brechbaren im dunklen Theil des Spectrums ähnlich oder gleich sind.

Ohne Zweifel müfste man, um diese Betrachtungsweise strenge zu begründen, den mittleren Brechbarkeitsgrad oder die mittlere Wellenlänge der aus diesen beiden Quellen herkommenden Strahlen direct bestimmen; dazu hatten wir noch keine Mufse, allein wir hatten wenigstens Gelegenheit nachzuweisen, dafs man in den unvollkommnen Spectren, welche man erhält, wenn man die wenig intensiven Strahlen einer guten Moderator-Lampe durch Glasprismen

Digitized by Google

zerstreut, nur in dem Roth oder in dem dunklen, weniger als das Roth brechbaren Theil ein etwas beträchtliches Verhältnifs von Wärme findet. Nun ist es nach der Unvollkommenheit der angewandten Spectren unmöglich nicht anzunehmen, dafs ein starker Antheil der im Roth gefundenen Wärme von der Beimischung dunkler, weniger als das Roth brechbarer Strahlen herrühre. Alles deutet folglich übereinstimmend darauf hin, dafs die mittlere Brechbarkeit der Wärme aus Quellen von niederer Temperatur schwach ist. Uebrigens ist diese Idee, auf welche wir durch unsere Versuche geführt wurden, längst von Hrn. Melloni in Folge seiner zahlreichen Versuche über den Wärmedurchgang ausgesprochen.

Nach diesem Physiker werden die Strahlen aus dem dunklen Theil des Sonnenspectrums desto weniger vom Wasser durchgelassen als ihre Brechbarkeit geringer ist. Da andrerseits eine rasche Abnahme in der Durchgänglichkeit durch Wasser gewöhnlich die Senkung der Temperatur der Wärmequellen begleitet, so hat man daraus gefolgert, dafs die Strahlen von geringer Brechbarkeit diejenigen seyen, welche in der Wärme aus Quellen von niedriger Temperatur vorwalten.

Wir selbst haben einige Versuche über diesen Gegenstand angestellt, und dabei folgende Resultate erhalten:

Durchgang durch 0m,05 Wasser, eingeschlossen zwischen zwei polirten Glasplatten.

Gesammte Sonnenwärme	0,58
Dunkle Sonnenwärme, genommen in einem Abstand vom Roth, der dem des Roth von der Gränze zwischen Grün und Blau gleich war	0,14
Dunkle Sonnenwärme, noch entferntere	0,00
Sonnenwärme, die schon durch 25 Centmet. Wasser gegangen	0,92
Wärme einer durch einen starken galvanischen Strom erglühenden Kohle	0,23 bis 0,24

Digitized by Google

Wärme von Kreide, die in einer durch Sauerstoff angefachten Aetherflamme glühte 0,20
Wärme einer Locatellischen Lampe oder einer Argandschen mit Zugröhre 0,10
Wärme einer Lampe mit gesalzenem Alkohol 0,02 bis 0,03
Wärme einer Argand'schen Lampe, nach dem Durchgang durch eine Linse und 10 Centm. Wasser 0,51.

Wir schliefsen mit Anführung einer letzten Beobachtung, welche mit den frühern übereinstimmt und eine Andeutung von der Beschaffenheit der elektrischen Wärme giebt. In einem schönen Spectrum, gebildet von den Strahlen aus glühender Kohle, haben wir Wärme mit Leichtigkeit bis in das Blau verfolgen können, während wir bei den Spectren der gewöhnlichen Lampen niemals dahin gelangten.

VI. *Notiz über die Geschwindigkeit des Schalls in Stäben; von W. Wertheim.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXXI. p.* 36.)

In einer, 1842 veröffentlichen Abhandlung über die Elasticität der Metalle [1]) habe ich mich besonders mit dem Verhältnifs zwischen den Elasticitätscoëfficienten und der Schallgeschwindigkeit beschäftigt und gefunden, dafs die Longitudinal-Schwingungen immer für diese letztere einen etwas gröfseren Werth ergeben als der durch die Verlängerung bestimmte Elasticitätscoëfficient. Um diesen Unterschied zu erklären, habe ich die Hypothese von der Beschleunigung des Schalls durch Wärme-Entwicklung angenommen und mich einer Formel des Hrn. Duhamel bedient, um das Verhältnifs zwischen den beiden specifi-

1) Ann. Ergänzbd. II. S. 1.

Digitized by Google

schen Wärmen mittelst des Verhältnisses zwischen den beiden Schallgeschwindigkeiten zu berechnen. Hr. Clausius hat neuerlich eine Abhandlung veröffentlicht [1]), in welcher er auf diesen Gegenstand zurückkommt und die Bemerkung macht, dafs die von mir angewandte Formel, nur für die Fortpflanzung spärischer Wellen im Innern eines starren Körpers gelte, und nicht für die lineare Fortpflanzung längs einem Stabe, und dafs, wenn man meine Versuche mittelst der für diesen letzten Fall gültigen Formel berechne, man für das Verhältnifs der specifischen Wärmen unmögliche Werthe finde.

Dieser Widerspruch zwischen Hypothese und Erfahrung war mir nicht unbekannt; ich hatte ihn bemerkt und wenn ich mich nicht dabei aufhielt, so geschah es, weil damals die Unterscheidung zwischen der Fortpflanzung des Schalls in einem Stabe und in einer unbegränzten Masse noch nicht von den Physikern anerkannt ward. Sie war noch durch keinen Versuch bestätigt und ich glaubte nicht eine sehr in Ansehen stehende Hypothese durch das Resultat eines Calculs angreifen zu dürfen, der seinerseits beanstandet werden konnte. Und wirklich haben andere Untersuchungen seitdem gezeigt, dafs zwischen beiden Geschwindigkeiten zwar ein Unterschied herrscht, das gegenseitige Verhältnifs derselben aber nicht das ist, welches man bisher allgemein angenommen hatte.

Was Hr. Clausius hätte überzeugen können, dafs mir diese Schwierigkeit nicht unbekannt war, ist der Umstand, dafs ich in meinen übrigen Abhandlungen über die Elasticität von Legirungen und anderen starren Körpern fortgefahren habe, den Unterschied zwischen der theoretischen und wirklichen Geschwindigkeit des Schalls möglichst genau zu stimmen, ohne eine Erklärung desselben aufzusuchen und ohne eine Folgerung daraus zu ziehen.

Allein jetzt, da kein Zweifel mehr obwaltet, dafs zwischen den beiden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten unterschieden werden müsse, scheint mir die Hypothese von der

1) Poggendorff's Annal. Bd. LXXVI. S. 46.

Digitized by Google

Beschleunigung des Schalls im starren Körper durch Wärme-Entwicklung um so weniger haltbar, als diese Beschleunigung bestimmt in Flüssigkeiten nicht stattfindet, obgleich diese letzteren sich in Bezug auf Schwingungen durchaus wie die starren Körper verhalten. Man mufs also suchen den Unterschied zwischen der theoretischen und experimentellen Geschwindigkeit auf andere Weise zu erklären.

Unter diesem Gesichtspunkt scheint mir folgende Bemerkung nicht ohne Wichtigkeit. Zufolge der Analyse des Hr. Cauchy mufs die Schallgeschwindigkeit in einem Stabe verschieden seyn von der, welche in einer Platte von unendlicher Ausdehnung oder in einer elastischen Lamelle stattfindet.

Bezeichnet man die erstere mit v_1, die zweite mit v_2 und die Dichtigkeit mit Δ so hat man [1]):

$$v_1^2 = \frac{(\vartheta-1)(\vartheta+2)K}{\vartheta+1\quad\Delta};\quad v_2^2 = \left(\vartheta - \frac{1}{\vartheta}\right)\frac{K}{\Delta}$$

woraus, wenn man $\vartheta = 2$ setzt:

$$v_2 = \sqrt{\frac{8}{9}} \cdot v_1 = 1{,}0607 \cdot v_1.$$

Nimmt man also einen Stab und eine Platte von gleicher Substanz, gleicher Dicke und Breite, so müfste der Longitudinalton der Platte viel höher seyn als der des Stabes. Allein der Versuch beweist, dafs man vom Stabe zum Streifen, und von diesem zur Platte übergehen kann, ohne dafs der Longitudinalton die geringste Veränderung erleidet [2]). Die Schallgeschwindigkeit ist also dieselbe in der Platte und im Stabe. Bezeichnen wir diese Geschwindigkeit, welche die wirkliche ist, mit v, so können wir experimentell für jede Substanz das Verhältnifs $\frac{v}{v_1}$ finden.

In folgender Tafel habe ich die Mittelwerthe zusammengestellt, die aus meinen schon veröffentlichten Untersuchungen hervorgehen.

1) *Exercices de Mathématiques T. III. p.* 346 und 365.
1) Savart, *Ann. de chim. et de phys. T. XXV. p.* 255.

Digitized by Google

Substanzen.	$\frac{v}{v_1}$	Substanzen,	$\frac{v}{v_1}$	Substanzen (Hölzer.)	$\frac{v}{v_1}$
Gold, ausgezogen	1,028	Messing, reines	1,090	Hagebuche	1,048
angelassen	1,068	Berliner	1,029	Espe	1,017
Silber, ausgezog.	1,014	Berliner	1,047	Erle	1,058
angelass.	1,007	Blei, gegossen	1,116	Sycomore	1,067
Palladium, ausgez.	1,027	ausgezog.	1,124	Ahorn	1,033
angelass.	1,073	angelass.	1,114	Eiche	1,052
Platin, ausgezogen	1,004	Glas, Spiegelgl.	1,052	Birke	1,100
angelassen	1,003	gemeines blei-		Buche	1,051
Zink, ausgezogen	1,046	freies	1,032	Esche	1,116
angelassen	1,017	feines	1,068	Ulme	1,083
Kupfer, ausgezog.	1,003	violettes	1,190	Pappel	1,006
angelassen	1,043	Kristallglas	1,164	Akazie	1,091
				Tanne	1,028
				Fichte	1,040

Diese Werthe sind aus den Resultaten zweier Arten von Versuchen berechnet, deren Fehler sich addirt haben können, folglich mögen sie nicht mit grofser Genauigkeit bestimmt seyn; trotzdem weichen sie nicht sehr ab von dem Verhältnifs $v_2 : v_1$, welches $= 1{,}061$ ist. Um folglich allen Widerspruch zwischen Rechnung und Erfahrung zu heben, brauchte man nur anzunehmen, dafs $v = v_2$, oder, was auf dasselbe hinausläuft, dafs die Stäbe, mit welchen wir arbeiteten, schon als elastische Platten zu betrachten seyen. Uebrigens habe ich geglaubt diese Auslegung andeuten zu müssen, bin aber weit entfernt, sie für eine vollständige Lösung der Aufgabe zu halten.

Digitized by Google

VII. *Ueber eine Beziehung zwischen der Farbe gewisser Flammen und den durch das Licht gefärbten heliographischen Bildern;*
von Hrn. Niepce-de-Saint-Victor.

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXXII. p.* 373.)

Am 24. März d. J. habe ich bei der Academie eine sehr ausführliche Abhandlung über diesen Gegenstand niedergelegt. Gegenwärtig will ich einen möglichst bündigen Auszug davon geben.

Wie bekannt wird eine Silberplatte, die in einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd und Chlornatrium mittelst der Säule positiv gemacht ist, chlorirt und zugleich fähig sich zu färben, wenn man sie, zum Bade herausgezogen, der Wirkung des Lichtes aussetzt.

Man weifs überdiefs, dafs Hr. Edmond Becquerel, als er eine solche Platte den Farbenstrahlen des Sonnenspectrums aussetzte, ein Bild von diesem Spectrum erhielt, dergestalt, dafs der rothe Strahl ein rothes Bild auf der Platte machte, der violette ein violettes, und so fort die übrigen [1]).

Da ich nach meinen Beobachtungen dachte, dafs eine Beziehung stattfinden könne zwischen der Farbe, die ein Körper einer Flamme mittheilt, und der Farbe, welche das Licht auf einer Silberplatte entwickelt, die mit dem diese Flamme färbenden Körper chlorirt worden, so unternahm ich die Reihe von Versuchen, welche ich hier der Academie vorlege.

Das Bad, in welches ich die Silberplatte tauchte, bestand aus mit Chlor gesättigtem Wasser, dem ich ein Chlorid hinzufügte, das die Eigenschaft besafs, der Flamme diejenige Farbe zu ertheilen, welche ich auf der Platte hervorbringen wollte.

1) Ann. Bd. LXXVII, S. 512.

Digitized by Google

So z. B. weifs man, dafs Chlorstrontium die Flammen überhaupt und besonders die Alkoholflamme purpurn färbt. Behandelt man nun eine Silberplatte mit gesättigtem Chlorwasser, dem man Chlorstrontium hinzugefügt hat, und setzt dieselbe, nachdem man eine in Roth oder anderen Farben gefärbte Zeichnung mit der Vorderseite (*le recto*) auf sie gelegt hat, dem Sonnenlichte aus, so bemerkt man nach 10 oder 15 Minuten, dafs die Farben der Zeichnung auf der Platte reproducirt sind, die rothen aber viel deutlicher als die übrigen.

Will man successive die sechs andern Farben des Sonnenspectrums reproduciren, so operirt man auf dieselbe Weise wie eben beim rothen Strahl gezeigt worden, indem man für Orange Calciumchlorid oder Uranchlorid, für Gelb unterchlorigsaures Natron, Chlorkalium oder Chlornatrium oder auch reines Chlorwasser (*chlore liquide pur*) anwendet; denn wenn man eine Platte von reinem Silber auf einige Zeit in Chlorwasser taucht und darauf der Flamme einer Alkohollampe aussetzt, färbt sich diese Flamme schön gelb.

Taucht man eine Silberplatte in Chlorwasser oder setzt sie dem Dampfe desselben aus, (in welchem letzteren Falle indefs der Grund der Platte immer dunkel bleibt, obwohl die Farben sich reproduciren), so erhält man alle Farben durch das Licht, aber blofs das Gelb ist lebhaft. Sehr schöne gelbe Farben habe ich erhalten mit einem Bade, bestehend aus sehr schwach durch Salzsäure angesäuertem Wasser und einem Kupfersalz. Grün erhält man mit Borsäure oder Nickelchlorid, so wie mit allen Kupfersalzen. Blau bekommt man mit Kupferchlorid-Ammoniak; Indigo mit derselben Substanz. Violett erhält man mit Strotiumchlorid und schwefelsaurem Kupferoxyd.

Verbrennt man endlich Alkohol, der durch Salzsäure angesäuert worden, so erhält man eine gelbe, blaue und grünliche Farbe, und wenn man eine Silberplatte mit einem durch Chlorwasserstoffsäure angesäuerten Wasser zubereitet, so erhält man durch das Licht alle Farben; allein der Grund der Platte ist immer schwarz, und diese Zube-

Digitized by Google

reitung der Platte kann nicht anders als mittelst der Säule geschehen.

Das sind alle Substanzen, welche gefärbte Flammen liefern und auch durch das Licht gefärbte Bilder geben.

Nehme ich nun Substanzen, welche die Flammen nicht färben, so erhalte ich auch keine durch das Licht gefärbten Bilder, d. h. es entstehen auf der Platte nur negative, aus schwarz und weifs bestehende Bilder, wie bei der gewöhnlichen Photographie.

Einige Substanzen, wie Antimonchlorid, chlorsaures Bleioxyd und Zinkchlorid, geben weifse Flammen. Die beiden ersteren geben eine bläulich (*azurée*) weifse Flamme, und das letztere eine weifse, schwach grün und blau gefärbte Flamme. Diese drei Chlorverbindungen geben, wenn man sie einzeln anwendet, im Lichte keine Farben, mischt man sie aber mit andern Substanzen, die Farben hervorbringen, so erhält man überdiefs weifse Gründe. Eine sehr schwierige Sache, weil es in der That kein eigentliches Schwarz oder Weifs bei diesen Farben-Erscheinungen giebt, und, wenn ich es erhielt, war es nur mittelst Chlorzinks oder chlorsauren Bleioxyds, das ich meinen Bädern hinzufügte, allein in sehr kleiner Menge, weil sie die Reproduction der Farben verhindern.

Ich habe alle Farben des Modells reproducirt, indem ich die Platte mit einem aus Kupferchlorid bestehenden Bade zubereitete. Dieses Resultat erklärt sich gut, wie mir scheint, durch die Beobachtung, dafs eine Alkohol- oder Holzflamme, in welche man Kupferchlorid gestreut hat, nicht allein Grün zeigt, sondern auch successive alle übrigen Farben des Spectrums, je nach der Intensität des Feuers. Ebenso verhält es sich mit fast allen dem Chlor zugemischten Kupfersalzen.

Ich verweise hier auf den Nachtrag zu meiner Abhandlung, welchen man am Schlusse dieser findet, und in welchem ich alle Farben aufgezählt habe, die, als Chloride oder Chlorate, eine Wirkung bei diesen Färbungs-Erscheinungen ausüben. Die Substanzen, welche keine farbigen Flam-

Digitized by Google

men geben, geben auch keine durch das Licht gefärbte Bilder.

Ich gebe in meiner Abhandlung die Zusammensetzung der Bäder, mit welchen die Silberplatte zubereitet wird; da es aber deren viele giebt, und ich doch nicht alle von mir gemachten Combinationen angeben konnte, so habe ich zwei oder drei ausgewählt, die mir den Vorzug zu verdienen scheinen vor allem, um Platten ohne Anwendung der Säule zuzubereiten.

Ich habe gesagt, dafs das Chlorwasser die Silberplatte durch blofse Eintauchung zubereite (*impressionnait*) und alle Farben gebe, allein sie sind schwach (mit Ausnahme des Gelben), was von der Dünnheit der Schicht herrührt, die man nur mittelst der Säule dick machen kann.

Bringt man ein Kupfersalz in Chlorwasser (*chlore liquide*), so erhält man durch blofse Eintauchung eine sehr dicke Schicht. Allein das Kupfersalz mischt sich immer schlecht mit dem Chlorwasser; ich ziehe vor Kupferchlorid zu nehmen, dem ich drei Viertel seines Gewichts Wasser hinzufüge. Diefs Bad giebt sehr gute Resultate, allein noch vorzüglicher ist eins aus gleichen Theilen Kupferchlorid und Eisenchlorid (*chlorure de fer*) mit drei Vierteln Wasser. Das Eisenchlorid hat, wie das Kupferchlorid, die Eigenschaft das Silber anzugreifen (*d'impressionner*) und mehre Farben darauf hervorzubringen; allein sie sind unendlich schwächer und immer waltet darin das Gelb vor; diefs stimmt mit der gelben Farbe, welche das Eisenchlorid in der Flamme hervorbringt.

Macht man ein Bad zusammengesetzt aus allen Substanzen, die für sich eine vorherrschende Farbe geben, so erhält man sehr lebhafte Farben; allein die grofse Schwierigkeit ist, sie in zweckmäfsigen Verhältnissen zu vermischen, denn es geschieht fast immer, dafs einige Farben von andern ausgeschlossen werden; indefs mufs es gelingen sie alle zu reproduciren.

Ich mufs sagen, dafs die Erlangung dieser Farben sehr grofse Schwierigkeiten hat, noch gröfsere als in allen übri-

Digitized by Google

gen photographischen Processen; denn, wenn man auch die Platten auf dieselbe Weise bereitet, ist man doch nicht immer gewifs dieselben Resultate zu erlangen. Diefs rührt unter andern von der Dicke und der Concentration der Chlorschicht her, die nach den angewandten Chloriden verschieden ist.

Vom Einflufs des Wassers und der Wärme bei diesen Färbungen durch das Licht. — Der Einflufs des Wassers ist unbestreitbar, weil das trockne Chlor keine Wirkung giebt, während durch Eintauchung in Chlorwasser (*chlore liquide*) oder dessen Dampf alle vorhin angeführten Farben reproducirt werden.

Wenn man eine Platte der Wirkung des Chlors ausgesetzt hat und sie dann über einer Weingeistlampe erhitzt, so nimmt sie successive alle Farben an, welche die Wärme hervorbringt. So nimmt eine Platte, die beim Herausziehen aus dem Bade eine dunkle Farbe hat, successiv die folgenden Farben an: rothbraun, kirschroth, lebhaft roth, rothweifs oder weifs. Im letzteren Zustand giebt sie, dem Lichte ausgesetzt, keinen Effect mehr; dazu ist die kirschrothe Farbe erforderlich.

Allgemeine Bemerkungen über diese Erscheinungen. — Merkwürdig ist, dafs man, um diese Färbungs-Effecte zu erhalten, durchaus mit metallischem, auf angegebene Weise zubereitetem, Silber operiren mufs, denn das Chlorid, Cyanid, Nitrat oder Sulfat des Silbers, auf Papier ausgestrichen (*on enduit d'amidon*), giebt nur Schwarz oder Weifs. Vielleicht, dafs man ein Resultat erhielte, wenn man Silberpulver mit den angeführten Substanzen vermengte und damit ein Papierblatt überzöge. Ich denke diesen Versuch noch anzustellen. Andererseits habe ich Silberpapier versucht, und das hat mir ziemlich gute Resultate gegeben, obwohl nicht so gute wie die Metallplatte.

Wie wir gesehen, geben alle Substanzen, welche die Flammen färben, auch farbige Bilder, und fast auch immer im Verhältnifs zu ihren respectiven Farben; denn, wenn es mir auch nicht gelungen ist, einen Strahl vollständig zu

Digitized by Google

isoliren, d. h. eine einzige Farbe, mit Ausschlufs aller übrigen, auf der Platte zu erhalten, so habe ich doch immer, je nach der angewandten Substanz, eine vorwaltende Farbe bekommen. Und wenn man keine einzelne Farbe erhalten kann, so rührt diefs daher, dafs das blofse Chlor, welches die zu ihrer Erlangung unumgängliche Substanz ist, sie alle erzeugt, wie wir gesehen, als wir mit reinem Chlorwasser operirten; allein in diesem Fall sind die Farben immer sehr schwach, während sie für sich eine sehr grofse Lebhaftigkeit annehmen, je nach der Substanz, die man dem Chlorwasser beigemengt hat.

Jod und Brom verhalten sich ganz anders wie das Chlor und können daher nicht angewandt werden. Sie erzeugen keine Farben und ebenso wenig farbige Flammen; selbst wenn sie mit Kupfer vermischt werden, geben sie nur eine grüne Flamme. Das Chlor, im Zustand von Chlorit oder Chlorat, ist die einzige Substanz, welche dem metallischen Silber die Eigenschaft ertheilt sich im Lichte zu färben.

Ich habe auch beobachtet, dafs gewisse Farben langsamer erscheinen, und währenddefs andere verschwanden.

Verfahrungsweise. — Alle meine Bäder habe ich, dem Gewichte nach, aus einem Theile Chlorid und drei Theilen Wasser zusammengesetzt. Wendet man Chlorwasserstoffsäure mit einem Kupfersalz an, so mufs man sie mit einem Zehntel Wasser verdünnen. Das Chlorwasser darf nicht zu concentrirt seyn, wenn man ein schönes Gelb erhalten will.

Bäder, zusammengesetzt aus mehren Substanzen, müssen filtrirt oder decantirt werden, um eine klare Flüssigkeit zu erhalten; man thut sie dann in ein Gefäfs, um sich derselben nach Bedürfnifs zu bedienen.

Man darf von dieser Flüssigkeit nicht mehr nehmen als zur Zubereitung von höchstens zwei Platten nöthig ist; denn das Bad schwächt sich durch jede Operation bedeutend. Indefs kann man es verstärken, wenn man einige Tropfen Chlorwasserstoffsäure hinein thut.

Digitized by Google

Mit chemisch reinem Silber habe ich lebhaftere Farben bekommen, als mit Silber, welches ein Zehntel Kupfer enthielt. Silber von 0,718 Feingehalt gab sehr dunkle Farben. Das reinste Silber verdient also immer den Vorzug bei diesen Versuchen.

Nachdem man die Platte wohl abgerieben hat (wozu man Ammoniak und Tripel nehmen mufs) taucht man sie auf einmal in das Bad und läfst sie einige Minuten darin, um eine ziemlich dicke Schicht zu bekommen. Nach Herausnahme aus dem Bade, spült man die Platte in vielem Wasser ab und trocknet sie dann über einer Weingeistlampe. Sie hat in dem Bade eine dunkle fast schwarze Farbe angenommen, und wenn man sie so dem Lichte aussetzt, entstehen die Farben ebenso, aber viel langsamer und der Grund ist immer schwarz. Um einen klaren Grund zu erhalten und die Operation zu beschleunigen, mufs man der Platte durch Erwärmung eine kirschrothe Farbe ertheilen, und sie bei dieser Wärme, wie gesagt, dem Lichte aussetzen. Die Dauer der Aussetzung variirt sehr, je nach der Zubereitung der Platte; allein es läfst sich berechnen, dafs man zwei bis drei Stunden bedarf, um in der Camera obscura ein Bild (*epreuve*) zu erhalten. Diefs ist zweifelsohne sehr lang; allein die Beschleunigung ist eine Nebensache und ich habe mich noch nicht damit beschäftigt. Indefs kann ich schon sagen, dafs Natriumfluorid, so wie Chlorsäure und alle Chlorate, die Operation sehr beschleunigen.

Von der Fixirung der Bilder. — Bisjetzt ist es mir noch nicht gelungen, die Farben zu fixiren; sie verschwanden sehr rasch, selbst im diffusen Licht, nichts vermochte sie zu halten. Ich habe mehr als hundert Versuche gemacht, ohne irgend ein befriedigendes Resultat. Ich habe alle Säuren und alle Alkalien durchprobirt. Die ersteren beleben die Farben; die letzteren nehmen sie fort, indem sie das Chlor zerstören und nur ein schwarzes Bild hinterlassen. Auf diese Weise habe ich Bilder ganz wie die Daguerre'schen erhalten und andere ohne Spiegelung; um

Digitized by Google

um die letzteren zu erhalten, braucht man nur eine Platte mit sehr dicker Schicht anzuwenden und sie kürzere Zeit dem Lichte auszusetzen.

Das Problem der Fixirung der Farben zu lösen, scheint mir sehr schwierig; defsungeachtet werde ich meine Untersuchungen fortsetzen, und ich bin bereits dahin gelangt, die Farben momentan zu fixiren, indem ich sie einer Weingeistflamme aussetzte, die Kochsalz und Salmiak enthielt.

Nachtrag.

Ich habe gefunden, dafs die Erscheinungen der Färbung durch das Licht sich im Vacuo so gut wie in der Luft zeigen, dafs mithin der Sauerstoff keine Rolle dabei spielt. Es bleiben also nur drei Agentien: Wasser, Wärme, und, als das hauptsächlichste, Licht.

Ich habe die Eigenschaft von jedem (?) Chlorid studirt, sowohl für sich, als zugleich mit Chlorwasser oder mit einem Kupfersalz; denn wenn man die Platte nicht mittelst der Säule zubereitet, ist ein Kupfersalz unentbehrlich um eine Schicht von gewisser Dicke zu erhalten, und in diesem Fall sind die Farben viel lebhafter. Ich will alle von mir angewandten Chloride namhaft machen und sie in Kategorien stellen.

Erste Kategorie. — Chloride, die, für sich angewandt, die Silberplatte dergestalt zubereiten (*impressionnent*), dafs sie alle Farben des Modells oder mehre derselben annimmt. Solche sind: Die Chloride von Kupfer, Eisen, Nickel und Kalium, die Hypochlorite von Natron und Kalk, so wie Chlorwasser, durch Eintauchung oder als Dampf.

Zweite Kategorie. — Chloride, die, für sich angewandt, die Silberplatte angreifen (*impressionnent*), aber dennoch keine durch das Licht gefärbte Bilder geben. Solche sind: Die Chloride von Arsen, Antimon, Brom, Wismuth, Jod, Platin und Schwefel.

Dritte Kategorie. — Chloride, die, für sich angewandt, die Silberplatte nicht angreifen, wohl aber bei Vermischung

Digitized by Google

mit einem Kupfersalz (besonders mit dem Sulfat oder Nitrat), und die dann Farben im Lichte geben. Solche sind: die Chloride von Aluminium, Silber, Barium, Kadmium, Calcium, Kobalt, Zinn, Mangan, Magnesium, Phosphor, Natrium, Strontium und Zink. Chlorwasserstoffsäure, mit einem Zehntel Wasser verdünnt und mit Kupfernitrat vermischt, greift die Platte an und giebt alle Farben.

Vierte Kategorie. — Chloride und Chlorate, die, wenn auch vermischt mit einem Kupfersalz, die Silberplatte angreifen, aber keine Farben im Lichte geben. Solche sind: Quecksilberchlorid und Bleichlorat.

Zusammengefafst enthält die erste Kategorie die Chloride, welche, für sich angewandt, die Silberplatte dergestalt verändern, dafs sie alle Farben oder blofs einige derselben annimmt; und merkwürdiger Weise sind es auch alle diese Chloride, welche durch Verbrennung farbige Flammen liefern.

Die zweite Kategorie enthält Chloride, welche, für sich angewandt, die Silberplatte zwar verändern, aber, weil sie keine farbigen Flammen liefern, auch keine im Lichte sich färbende Bilder geben, selbst wenn sie mit einem Kupfersalz vermischt sind.

Die dritte Kategorie enthält die Chloride, welche, für sich angewandt, die Silberplatte nicht verändern und keine farbigen Flammen geben (mit Ausnahme von Barium- und Zinkchlorid, welche schwache Farben liefern); allein mit einem Kupfersalz vermischt, bilden sie Chlorkupfer, und alsdann werden sie fähig die Platte zu verändern, und Farben im Lichte hervorzubringen.

Die vierte Kategorie enthält die Chloride, welche, gemischt mit einem Kupfersalz, die Silberplatte zwar verändern, aber doch keine Farben im Lichte hervorbringen. Auch geben sie, allein verbrannt, keine farbigen Flammen, und, vermischt mit einem Kupfersalz, nur eine grüne.

Es giebt noch eine grofse Anzahl von Chloriden, die ich nicht versucht habe, weil sie zu kostspielig sind, um sie, besonders zur Bildung von Bädern, anwenden zu können.

Digitized by Google

Dahin gehören: Die Chloride von Kohlenstoff, Cerium, Chrom, Cyan, Iridium, Molybdän, Palladium, Silicium, Rhodium, Titan, Wolfram und Zirkon.

Nach den zahlreichen Thatsachen, die ich seit etwa einem Jahre beobachtet habe, scheint es sicher, dafs wenn auch zwischen den farbigen Flammen und den farbigen Bildern, die man im Lichte auf einer mit den die Flamme färbenden Chloriden oder Chloraten zubereiteten Silberplatte erhält, keine vollständige Aehnlichkeit herrscht, doch eine grofse Analogie zwischen denselben vorhanden ist.

VIII. *Ueber die Interferenzen des polarisirten Lichts; von Hrn. E. Verdet.*

(*Ann. de. chim. et de phys. Ser. III. T. XXXI. p.* 377.)

Alle Physiker kennen die Versuche, durch welche Arago und Fresnel bewiesen haben, dafs zwei unter sich rechtwinklich polarisirte Lichtstrahlen, wie auch ihr Gangunterschied seyn möge, nicht mit einander interferiren können.

Gestützt auf dieses experimentelle Gesetz, hat Fresnel in seiner Abhandlung über die Doppelbrechung einen Beweis von dem Principe der Transversalvibrationen gegeben [1]). Ich glaube nicht, dafs man diesen Beweis jemals in Zweifel gezogen habe, und doch ist er unrichtig, weshalb ich es für nützlich halte, ihn zu berichtigen.

Bezeichnet man mit x und x' die von beiden Strahlen von ihrem gemeinschaftlichen Ursprung aus durchlaufenen Wege, und repräsentirt durch

$$u = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$v = b \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\chi}{\lambda} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$w = c \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\psi}{\lambda} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

1) *Mémoires de l'académie des sciences, T. VII. p.* 96.

Digitized by Google

die drei Componenten der Vibrationsgeschwindigkeiten im ersten Strahl, gerichtet nach drei rechtwinklichen Axen, von denen die eine der Richtung des Strahls parallel, die zweite winkelrecht auf dieser Richtung und parallel der Polarisationsebene, und die dritte winkelrecht auf letzterer Ebene ist; und auch durch

$$u' = a' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi'}{\lambda} - \frac{x'}{\lambda} \right)$$
$$v' = b' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\chi'}{\lambda} - \frac{x'}{\lambda} \right)$$
$$w' = c' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\psi'}{\lambda} - \frac{x'}{\lambda} \right)$$

die drei Componenten der Vibrationsgeschwindigkeiten des zweiten Strahls in Richtung derselben Axen; so wird die Intensität des aus der Combination dieser beiden Strahlen hervorgehenden Lichts ausgedrückt seyn durch:

$$a^2 + a'^2 + 2aa' \cos 2\pi \left(\frac{\varphi - \varphi' + x - x'}{\lambda} \right)$$
$$+ b^2 + b'^2 + 2bb' \cos 2\pi \left(\frac{\chi - \chi' + x - x'}{\lambda} \right)$$
$$+ c^2 + c'^2 + 2cc' \cos 2\pi \left(\frac{\psi - \psi' + x - x'}{\lambda} \right).$$

»Die Erfahrung, sagt Fresnel, beweist, dafs die Intensität constant bleibt, welche Veränderungen der Unterschied $x - x'$ der durchlaufenen Wege auch erleide, sobald nur die beiden interferirenden Strahlenbündel ihre Polarisationsebenen winkelrecht gegen einander haben. In diesem Falle also bleibt der Werth des obigen Ausdrucks gleich für alle Werthe von $x - x'$. Man mufs also haben

$$a^2 + b^2 + c^2 + a'^2 + b'^2 + c'^2$$
$$+ 2aa' \cos 2\pi \left(\frac{\varphi - \varphi' - x - x'}{\lambda} \right)$$
$$+ 2bb' \cos 2\pi \left(\frac{\chi - \chi' - x - x'}{\lambda} \right)$$
$$+ 2cc' \text{ sos } 2\pi \left(\frac{\psi - \psi' - x - x'}{\lambda} \right) = C$$

eine Gleichung, in welcher nur $x - x'$ variabel ist. Da nun dieser Gleichung bei jeglichem Werth von $x - x'$ genügt

Digitized by Google

seyn mufs, so ist klar, dafs alle Glieder, welche $x-x'$ enthalten, verschwinden müssen, weil man sonst aus der Gleichung particuläre Werthe von $x-x'$ ziehen würde. Folglich hat man:

$$aa'=0, \quad bb'=0, \quad cc'=0.$$

Fresnel zeigt darauf ohne Schwierigkeit, dafs man zugleich haben müsse:

$$a=0 \text{ und } a'=0$$

mit

$$b=0, \quad c'=0 \text{ oder } b'=0, \quad c=0.$$

Der Fehler in der angeführten Stelle ist, wie mir scheint, ziemlich einleuchtend. Bringt man die von Fresnel aufgestellte Formel unter die Form:

$$\left(\begin{array}{r} 2aa'\cos 2\pi\frac{\varphi-\varphi'}{\lambda}+2bb'\cos 2\pi\frac{\chi-\chi'}{\lambda} \\ +2cc'\cos 2\pi\frac{\psi-\psi'}{\lambda}\end{array}\right)\cos 2\pi\frac{x-x'}{\lambda}$$

$$-\left(\begin{array}{r} 2aa'\sin 2\pi\frac{\varphi-\varphi'}{\lambda}+2bb'\sin 2\pi\frac{\chi-\chi'}{\lambda} \\ +2cc'\sin 2\pi\frac{\psi-\psi'}{\lambda}\end{array}\right)\sin 2\pi\frac{x-x'}{\lambda}=K$$

wo K eine neue Constante, gleich:

$$C-(a^2+b^2+c^2+a'^2+b'^2+c'^2),$$

so sieht man, dafs ihr, für alle Werthe von $x-x'$ genügt seyn wird, sobald man gleichzeitig hat:

$$K=0$$

$$aa'\cos 2\pi\frac{\varphi-\varphi'}{\lambda}+bb'\cos 2\pi\frac{\chi-\chi'}{\lambda}+cc'\cos 2\pi\frac{\psi-\psi'}{\lambda}=0$$

$$aa'\sin 2\pi\frac{\varphi-\varphi'}{\lambda}+bb'\sin 2\pi\frac{\chi-\chi'}{\lambda}+cc'\sin 2\pi\frac{\psi-\psi'}{\lambda}=0$$

und diese Bedingungen können auf unendlich viele Weise erfüllt werden; die alle, wenn man nicht andere Betrachtungen zu Hülfe zieht, gleich zuläfsig erscheinen.

Auf folgende Art läfst sich der Beweis strenge führen. Es seyen:

Digitized by Google

$$\left.\begin{aligned} u &= a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi}{\lambda}\right) \\ v &= b \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\chi}{\lambda}\right) \\ w &= c \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\psi}{\lambda}\right) \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (1)$$

die Gleichungen eines Strahls, der sich in der Richtung OX parallel mit u fortpflanzt, und in der Ebene YOX parallel mit u und v polarisirt ist (Fig. 7 Taf. IV.). Addirt man die Gröfse δ zu den Gröfsen φ, χ, ψ und multiplicirt a, b, c mit einem constanten Coëfficienten m, so erhält man das folgende System:

$$\begin{aligned} u_1 &= ma \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi+\delta}{\lambda}\right) \\ v_1 &= mb \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\chi+\delta}{\lambda}\right) \\ w_1 &= mc \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\psi+\delta}{\lambda}\right), \end{aligned}$$

welches auch einen in der Ebene YOX polarisirten Strahl vorstellt. Allein dieser Strahl hat nicht dieselbe Intensität wie der vorgehende und beide sind um den Gangunterschied δ verschieden. Läfst man nun den zweiten Strahl sich um 90° um die Axe OX drehen, im Sinne des Pfeils auf der Figur, so hat man einen in der Ebene ZOX polarisirten Strahl und die Componenten der Vibrationsgeschwindigkeit werden ausgedrückt durch:

$$\begin{aligned} &\text{parallel } OX \ldots \quad u' = \quad ma \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\varphi+\delta}{\lambda}\right) \\ &\text{parallel } OY \ldots \quad v' = -mc \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\psi+\delta}{\lambda}\right) \text{ [1]} \\ &\text{parallel } OZ \ldots \quad w' = \quad mb \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\chi+\delta}{\lambda}\right). \end{aligned}$$

Das System dieser Gleichungen, welches wir die Gleichungen (2) nennen wollen, kann *a priori* nicht für den allgemeinsten Ausdruck der Strahlen genommen werden,

1) Das Zeichen — dieser Gleichung erklärt sich leicht. Bei einer Drehung von 90° um OX, im angedeuteten Sinn, kommt OZ längs OY zu stehen, d. h. entgegengesetzt der positiven Richtung der Axe der y.

Digitized by Google

die auf dem Strahl der Gleichungen (1) winkelrecht polarisirt ist; allein es ist offenbar eine mögliche Form dieses Ausdrucks, und das genügt für unsere Schlufsfolgen.

In der That, da die Intensität des aus der Ueberdeckung der Strahlen (1) und (2) hervorgehenden Lichts ist:

$$(a^2+b^2+c^2)(1+m^2)+2ma^2\cos 2\pi\frac{\delta}{\lambda}$$
$$-2mbc\left(\cos 2\pi\frac{\psi+\delta-\chi}{\lambda}-\cos 2\pi\frac{\chi+\delta-\psi}{\lambda}\right)$$

so folgt aus dem Arago-Fresnel'schen Gesetz, wie auch δ seyn möge, dafs man haben müsse

$$a^2\cos 2\pi\frac{\delta}{\lambda}-bc\left(\cos 2\pi\frac{\psi+\delta-\chi}{\lambda}-\cos 2\pi\frac{\chi+\delta-\psi}{\lambda}\right)=C.$$

Diese Gleichung bringt sich leicht unter die Form

$$a^2\cos 2\pi\frac{\delta}{\lambda}-2bc\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}\sin 2\pi\frac{\delta}{\lambda}=C$$

und daraus folgt unmittelbar

$$a^2=0,\quad bc\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0,\quad C=0.$$

Die Bedingung $a^2=0$ zeigt an, dafs die Vibrationsgeschwindigkeiten keine Componenten parallel der Fortpflanzungs-Richtung der Lichtstrahlen haben und dafs folglich die Vibrationen transversal sind.

Die zweite Bedingung kann erfüllt werden, wenn man setzt:

$$bc=0 \text{ oder } \sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0.$$

Adoptirt man die Hypothese $bc=0$, so sieht man, dafs b oder c Null seyn mufs, und das folglich die Vibrationen parallel oder winkelrecht zur Polarisationsebene seyn müssen. Es reicht also hin zu untersuchen, ob die Hypothese $\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0$ wirklich eine Lösung gebe.

Nun kann die Bedingung $\sin 2\pi\frac{\chi-\psi}{\lambda}=0$ durch zwei Systeme von Lösungen erfüllt werden, nämlich durch

$$\chi-\psi=0,\quad \chi-\psi=\lambda,\quad \chi-\psi=2\lambda\ \ldots$$

Digitized by Google

und durch

$$\chi - \psi = \frac{\lambda}{2},\ \chi - \psi = 3\frac{\lambda}{2},\ \chi - \psi = 5\frac{\lambda}{2} \ \ldots$$

Das erste System entspricht geradlinigen Vibrationen, gerichtet nach einer Geraden wie PP', Fig. 8 Taf. IV., welche mit der Polarisationsebene und oberhalb derselben einen Winkel $POY = \alpha$ macht, bestimmt durch die Formel

$$\text{tang}\,\alpha = \frac{c}{b}.$$

Das zweite System entspricht Vibrationen in Richtung der Geraden QQ', welche ebenfalls einen Winkel gleich α mit der Polarisationsebene macht, aber unterhalb derselben. Da die Erfahrung in keiner Weise ein Unter oder Ueber, ein Rechts oder Links von der Polarisationsebene unterscheidet, so mufs man beide Lösungen als gleich zulässig betrachten.

Mithin müssen die beiden Strahlen, deren Vibrationen nach PP' und QQ' gerichtet sind, gleichmäfsig als in der Ebene YY' polarisirt angesehen werden. Lassen wir nun den Strahl QQ' um 90° sich um seine Fortpflanzungsrichtung drehen, so dafs seine Vibrationen in der Richtung RR' geschehen, so mufs er als in der Ebene ZZ', winkelrecht auf der Ebene YY', polarisirt betrachtet werden, und folglich dürften die Strahlen PP' und RR' nicht mit einander interferiren, welch einen Gangunterschied sie auch besitzen mögen. Allein es ist ersichtlich, dafs die beiden Strahlen sich unter Umständen befinden, wo sie interferiren können. Wir kommen also zu einem der Erfahrung widersprechenden Schlufs.

Die Hypothese $\sin 2\pi \frac{\chi - \psi}{\lambda} = 0$ mufs also verworfen werden, und es bleibt nur eine einzige Lösung der Aufgabe übrig, nämlich $bc = 0$. So kommt man also auf Fresnel's Schlüsse zurück.

Digitized by Google

IX. *Ueber die Hypothesen vom Lichtäther und über einen Versuch, welcher zu beweisen scheint, dafs die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Innern der Körper fortpflanzt, durch deren Bewegung geändert wird; von H. Fizeau.*

(*Compt. rend. T. XXXIII.* 349.)

Um die Aberrationsphänomene nach dem Undulationssystem zu erklären, sind mehre Theorien aufgestellt worden. Fresnel zuvörderst, und neuerlich Doppler, Stockes, Challis und Andere, haben wichtige Arbeiten über diesen Gegenstand veröffentlicht; allein es scheint nicht, dafs eine der aufgestellten Theorien den vollen Beifall der Physiker erlangt habe. In der That hat man, bei Ermangelung sicherer Kenntnisse über die Eigenschaften des Lichtäthers und dessen Beziehungen zur wägbaren Materie, Hypothesen machen müssen, und darunter sind zwar einige mehr oder weniger wahrscheinlich, aber keine darf für vollkommen erwiesen gehalten werden.

Diese Hypothesen können hauptsächlich auf drei zurückgeführt werden. Sie beziehen sich auf den Zustand des Aethers im Innern durchsichtiger Körper.

Entweder haftet der Aether fest an den Moleculen des Körpers und nimmt daher Theil an den Bewegungen, die diesem Körper eingeprägt werden können.

Oder der Aether ist frei und unabhängig, und wird vom Körper nicht in seine Bewegungen hineingezogen.

Oder endlich ist blofs ein Theil des Aethers frei und der andere an den Moleculen befestigt und dieser allein participirt an den Bewegungen des Körpers.

Diese letzte Hypothese, welche man Fresnel verdankt, wurde erdacht, um zugleich dem Aberrationsphänomen und einem berühmten Versuch des Hrn. Arago zu genügen, durch welchen derselbe bewies, dafs die Bewegung der

Digitized by Google

Erde keinen Einfluſs hat auf die Brechung, die das Licht der Sterne in einem Prisma erleidet.

Man kann den Werth in Betracht nehmen, welchen man, nach jeder dieser Hypothesen, der Geschwindigkeit des Lichts in den Körpern beilegen muſs, sobald man diese Körper als in Bewegung ansieht. Der Werth dieser Geschwindigkeit kann sich durch die Bewegung verändern.

Nimmt man an, der Aether werde insgesammt mit dem Körper fortgeführt, so wird die Geschwindigkeit des Lichts um die ganze Geschwindigkeit des Körpers vergröſsert seyn, sobald der Strahl in Richtung der Bewegung liegt. Ist dagegen der Aether als frei vorausgesetzt, so wird die Lichtgeschwindigkeit gar nicht abgeändert. Und wird endlich der Aether nur theilweise mitgeschleppt, so vergröſsert sich zwar die Lichtgeschwindigkeit, aber nur um einen Bruch von der Geschwindigkeit des Körpers und nicht um den ganzen Werth, wie nach der ersten Hypothese. Diese letztere Folgerung ist nicht so einleuchtend wie die vorhergehenden, allein Fresnel hat gezeigt, daſs sie sich auf sehr wahrscheinliche mechanische Betrachtungen stützt.

Obwohl die Geschwindigkeit des Lichts ungeheuer ist im Vergleich zu den Geschwindigkeiten, welche wir den Körpern einprägen können, so besitzen wir doch gegenwärtig so empfindliche Beobachtungsmittel, daſs es nützlich scheint, durch einen directen Versuch zu entscheiden, welch einen Einfluſs die Bewegung der Körper wirklich auf die Geschwindigkeit des Lichtes ausübe.

Man verdankt Hrn. Arago eine auf dem Interferenzphänomen beruhende Methode, welche geeignet ist, die kleinsten Veränderungen im Brechungsindex der Körper nachzuweisen. Die von ihm und Fresnel angestellten Beobachtungen über den Unterschied der Brechung in trockner und feuchter Luft haben die auſserordentliche Empfindlichkeit dieses Beobachtungsmittels dargethan.

Durch Annahme dieses Princips und durch Hinzufügung der Doppelröhre des Hrn. Arago zu dem Apparat der beiden conjugirten Fernröhre, welchen ich zur Bestimmung

Digitized by Google

der absoluten Geschwindigkeit des Lichts angewandt habe, ist es mir gelungen, in den beiden Mitteln, Luft und Wasser, die Effecte der Bewegung eines Körpers auf das durch ihn gehende Licht direct zu studiren.

Ich will versuchen, den Gang des Lichts bei diesem Experiment ohne Mithülfe von Figuren zu verdeutlichen. Aus dem Brennpunkt einer cylindrischen Linse traten die Sonnenstrahlen fast unmittelbar in das erste Fernrohr durch eine seitliche, seinem Brennpunkt sehr nahe Oeffnung. Eine durchsichtige Glasplatte, die mit der Axe des Fernrohrs einen Winkel von 45° bildete, schickte sie durch Reflexion zu dem Objective hin.

Nach Austritt aus dem Objectiv trafen die unter sich parallel gewordenen Strahlen eine Doppelspalte, deren jede dem Eintritt in eine der Röhren entsprach. Somit drang ein sehr schmales Strahlenbündel in jede der Röhren und durchlief sie ihrer ganzen Länge nach (1^{m},487).

Die beiden, stets unter sich parallelen Strahlenbündel erreichten das Objectiv des zweiten Fernrohrs, brachen sich darin und kamen vermöge dieser Brechung zur Vereinigung in dessen Brennpunkt. Hier trafen sie die reflectirende Ebene eines auf der Axe des Fernrohrs lothrechten Spiegels und erlitten eine Reflexion, welche sie gegen das Objectiv zurücksandte. Allein vermöge dieser Reflexion hatten die Strahlen ihre Bahn vertauscht, so dafs diejenigen welche zuvor auf der Rechten waren, sich nach der Reflexion auf der Linken befanden, und umgekehrt. Nachdem sie abermals durch das Objectiv gegangen und wiederum unter sich parallel geworden, drangen sie aufs Neue in die Röhren, allein, da sie vertauscht worden, ging das Bündel, welches auf dem Hinwege die eine Röhre durchlaufen hatte, auf dem Rückwege durch die andere.

Nach diesem zweiten Durchgang durch die Röhren, gingen sie abermals durch die Doppelspalte, traten wieder in das erste Fernrohr und kamen in dessen Brennpunkt zur Interferenz, dabei die durchsichtige Glasplatte durchdringend. Hier bildeten sie vermöge ihrer Wechselwirkung

Digitized by Google

Interferenzfransen, die man mit einem, in seinem Brennpunkt mit Theilstrichen versehenen Ocular beobachtete.

Die Fransen müssen sehr breit seyn, um kleine Bruchwerthe von der Breite einer derselben bestimmen zu können. Ich habe gefunden, dafs diefs, mit Beibehaltung einer grofsen Lichtstärke, gelingt, wenn man vor einer der Spalten eine dicke Glasplatte anbringt und sie dergestalt neigt, dafs man beide Spalten vermöge der Refraction näher zusammenliegend sieht als sie in Wirklichkeit sind. Auf diese Weise kann man den Fransen verschiedene Breiten geben und diejenige wählen, welche für die Beobachtungen am passendsten ist. Der doppelte Durchgang des Lichts hatte den Zweck, die durchlaufene Länge des in Bewegung befindlichen Mittels zu vergröfsern, und überdiefs den Einfluſs einer zufälligen Verschiedenheit in Temperatur oder Druck zwischen den beiden Röhren ganz zu compensiren, denn daraus hätte eine Verschiebung der Fransen entstehen können, die sich mit der durch die Bewegung erzeugten vermengt, und somit die Beobachtung unsicher gemacht haben würde.

Leicht zu ersehen ist nämlich, dafs bei obiger Vorrichtung alle auf dem Wege des einen Strahls gelegenen Punkte sich auch auf dem Wege des anderen befinden, so dafs eine Dichtigkeitsveränderung in irgend einem Punkt der Bahn gleichmäfsig auf beide Strahlen wirken mufs und folglich keinen Einfluſs auf die Lage der Fransen haben kann. Dafs die Compensation wirklich total sey, davon versicherte man sich, indem man eine dicke Glasplatte blofs vor einer der beiden Spalten anbrachte oder blofs eine der Röhren mit Wasser füllte, während die andere Luft enthielt. Keine dieser beiden Proben veranlafste die geringste Aenderung in der Lage der Fransen.

Dagegen sieht man, dafs die beiden Strahlen in Bezug auf Bewegung entgegengesetzten Einflüssen unterworfen sind.

Nimmt man nämlich an, in der rechts gelegenen Röhre flieſse das Wasser gegen den Beobachter, so wird der von

Digitized by Google

der Rechten kommende Strahl die Röhre im Sinne der Bewegung durchlaufen, der von der Linken kommende aber im entgegengesetzten Sinne der Bewegung.

Setzt man das Wasser in den beiden Röhren zugleich und im entgegengesetzten Sinn in Bewegung, so sieht man, dafs die Effecte sich addiren müssen. Nachdem dieser Doppelstrom erzeugt worden, kann man den Sinn zugleich in beiden Röhren umkehren und der Effect wird wiederum verdoppelt seyn.

Alle diese Bewegungen des Wassers wurden auf eine sehr einfache Weise erzeugt, indem jede Röhre durch zwei Abzweigungen (*embranchements*) nahe an ihren Enden mit zwei gläsernen Behältern in Verbindung stand, in welchen man abwechselnd durch comprimirte Luft einen Druck hervorbrachte. Unter Wirkung dieses Drucks flofs das Wasser durch die Röhre, deren Enden durch Glasplatten verschlossen waren, aus dem einen Behälter in den anderen. Die Röhren waren von Glas und hielten $5^{mm},3$ im inneren Durchmesser und $1^{m},487$ in Länge.

Der Druck, unter welchem das Fliefsen des Wassers stattfand, konnte zwei Atmosphären übersteigen. Die Geschwindigkeit wurde berechnet, indem man das Volum des in einer Sekunde ausgeflossenen Wassers durch den Querschnitt der Röhre dividirte. Um einen Einwurf, den man erheben könnte, vorzubeugen, mufs ich sagen, dafs man grofse Vorsicht getroffen hatte, alle zufällige Bewegungen zu vermeiden, welche der Druck und der Stofs des Wassers hätten erzeugen können. So wurden die beiden Röhren und die Behälter, worin die Bewegungen des Wassers geschahen, durch Stützen getragen, die von den übrigen Theilen des Apparats, namentlich von den beiden Fernröhren, unabhängig waren. Es konnten also nur noch die Röhren eine zufällige Bewegung erleiden; Räsonnement und Erfahrung zeigten aber, dafs die Bewegungen und Biegungen der Röhren allein, ohne Einflufs auf die Lage der Fransen waren.

Die Beobachtung ergab nun Folgendes:

Digitized by Google

Sobald das Wasser in Bewegung gesetzt wird, verschieben sich die Fransen, und je nachdem das Wasser sich in diesem oder jenem Sinn bewegt, findet die Verschiebung nach der Rechten oder Linken statt.

Die Fransen sind nach der Rechten verschoben, sobald das Wasser in der rechts liegenden Röhre von dem Beobachter fort, und in der links liegenden Röhre auf ihn zu getrieben wird.

Die Fransen sind nach der Linken verschoben, sobald der Strom in jeder Röhre die umgekehrte Richtung von der eben bezeichneten besitzt.

Schon wenn das Wasser eine Geschwindigkeit von zwei Metern in der Sekunde besitzt, ist die Verschiebung merklich: bei einer Geschwindigkeit von 4 bis 7 Metern ist sie vollkommen meſsbar.

Nachdem ich das Daseyn des Phänomens nachgewiesen, suchte ich den numerischen Werth desselben mit aller möglichen Genauigkeit zu bestimmen.

Heifse einfache Verschiebung diejenige, welche entsteht, wenn das Wasser aus der Ruhe in Bewegung gesetzt wird, und doppelte Verschiebung diejenige, welche erfolgt, wenn die Bewegung in die umgekehrte verwandelt wird: so fand sich durch ein Mittel aus 19 ziemlich übereinstimmenden Beobachtungen für die einfache Verschiebung 0,23, also für die doppelte 0,46 der Breite einer Franse. Die Geschwindigkeit des Wassers betrug 7^m,069 in der Sekunde.

Hierauf wurde diefs Resultat verglichen mit denen, die sich durch Rechnung nach den verschiedenen Hypothesen über den Aether ergeben.

In der Voraussetzung eines ganz freien und von der Bewegung des Körpers unabhängigen Aethers müfste die Verschiebung Null seyn.

In der Hypothese, dafs der Aether mit den Moleculen der Körper vereinigt wäre, so dafs er Theil nähme an deren Bewegungen, gäbe die Rechnung für die doppelte Verschiebung den Werth 0,92. Die Beobachtung gab eine halb so grofse Zahl, nämlich 0,46.

Digitized by Google

In der von Fresnel angenommenen Hypothese, wo der Aether theilweise mitgezogen würde, giebt die Rechnung 0,40 d. h. eine der beobachteten sehr nahe kommende Zahl, und der Unterschied zwischen beiden würde sehr wahrscheinlich noch geringer geworden seyn, wenn es möglich gewesen wäre, in die Berechnung der Geschwindigkeit des Wassers eine Berichtigung aufzunehmen, die man in Ermangelung hinreichend genauer Data vernachlässigen mufste, nämlich die in Betreff der ungleichen Geschwindigkeit der verschiedenen Wasserfäden. Nach Abschätzung dieser Berichtigung auf die wahrscheinlichste Weise ersieht man, dafs sie die theoretische Zahl zu vergröfsern und folglich der beobachteten zu nähern strebt.

Ein ähnlicher Versuch wie der eben beschriebene wurde zuvor mit bewegter Luft angestellt, und ich habe dabei gefunden, *dafs die Bewegung der Luft durchaus keine merkliche Verschiebung der Fransen bewirkt.* Unter den Umständen, unter denen dieser Versuch gemacht wurde, und bei einer Geschwindigkeit von 25 Metern in der Sekunde, welche die Luft besafs, findet man, in der Hypothese der Fortschleppung des Aethers, dafs die doppelte Verschiebung 0,82 seyn müfste.

Nach der Hypothese von Fresnel würde dieselbe Verschiebung nur 0,000465 betragen, d. h. ganz unmerklich seyn. Die scheinbare Unbeweglichkeit der Fransen bei dem mit bewegter Luft angestellten Versuch ist also ganz im Einklang mit Fresnel's Theorie.

Als ich nach Festellung dieser negativen Thatsache dieselbe gemäfs den verschiedenen Hypothesen über den Aether zu erklären suchte, in solcher Weise, dafs zugleich dem Aberrationsphänomene und dem Versuch des Hrn. Arago genügt würde, schien es mir nothwendig, mit Fresnel anzunehmen, dafs die Bewegung der Körper eine Aenderung in der Geschwindigkeit des Lichts bewirken, und dafs diese Geschwindigkeitsänderung mehr oder weniger grofs sey für verschiedene Mittel, je nach der Stärke, mit welcher sie das Licht brechen; so dafs sie in

Digitized by Google

stark brechenden Körpern bedeutend, und in wenig brechenden, wie die Luft, sehr schwach sey.

Daraus folgte, dafs wenn die Fransen beim Durchgang durch bewegte Luft nicht verschoben wurden, sie dagegen bei Anstellung des Versuchs mit Wasser eine merkliche Verschiebung erleiden würden, da das Wasser einen viel bedeutenderen Brechungsindex als die Luft besitzt.

Ein von Hrn. Babinet angestellter und in den *Comptes rendus T. IX.* angeführter Versuch scheint im Widerspruch zu seyn mit der Hypothese einer Geschwindigkeitsänderung gemäfs dem Fresnel'schen Gesetz. Allein als ich die Umstände dieses Versuches in Erwägung zog, bemerkte ich eine Compensationsursache, welche den der Bewegung entspringenden Effect unmerklich machen mufste. Diese Ursache liegt in der Reflexion, welche das Licht bei diesem Versuch erleidet. In der That kann man beweisen dafs, sobald die Strahlen einen gewissen Gangunterschied unter sich besitzen, dieser Unterschied, vermöge der Reflexion an einem rotirenden Spiegel, geändert wird. Berechnet man die beiden Effecte in dem Versuch des Hrn. Babinet getrennt, so findet man, dafs sie fast gleiche, aber entgegengesetzte Werthe haben.

Diese Erklärung machte die Hypothese von einer Geschwindigkeitsänderung noch wahrscheinlicher, und ein mit bewegtem Wasser angestellter Versuch schien mir ganz geeignet, die Frage mit Sicherheit zu entscheiden.

Der Erfolg dieses Versuchs scheint mir die Annahme der Fresnel'schen Hypothese nach sich zuziehen oder wenigstens die des Gesetzes, welcher Derselbe aufgefunden, um die von der Bewegung der Körper hervorgebrachte Aenderung der Lichtgeschwindigkeit auszudrücken. Denn sobald dieses Gesetz sich als wahr erweiset, spricht es sehr stark zu Gunsten der Hypothese, von welcher es nur eine Folgerung ist; vielleicht erscheint die Conception von Fresnel so aufserordentlich und in mancher Beziehung so schwierig annehmbar, dafs es nach anderen Proben und einer gründ-

Digitized by Google

gründlichen Untersuchung von seitens der Mathematiker bedarf, ehe man sie als Ausdruck der Wirklichkeit zulassen kann.

X. *Chemische Untersuchung des Katapleiits, eines neuen Minerals von Lamö in Norwegen; von K. A. Sjögren.*

(*Kongl. Vetens. Acad. Handl. f.* 1849.)

Das Mineral, welches den Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes bildet, ist von Hrn. Weibye in Kragerö entdeckt, und mir von ihm zur Untersuchung mitgetheilt worden. Derselbe beschreibt den Katapleiit folgendermafsen:

»Der Name spielt auf das Vorkommen des Minerals an, da es immer von mehren seltenen Mineralen begleitet wird (*καταπλειον*).«

»Das Krystallsystem ist wahrscheinlich klinorhombisch. Es kommen nur unvollkommene Krystalle vor, welche ein Prisma von etwa 120° bilden, mit einer unter 120° schief geneigten basischen Fläche. Zuweilen findet man eine Spur von mehren verticalen Flächen.«

»Die Spaltbarkeit ist vollkommen nach der basischen Fläche; gewöhnlich findet man eine krummschalige Absonderung, welche nicht verwechselt werden darf mit dem krystallinischen Bruch, welcher splittrig ist. Die Krystallflächen haben matten oder schwachen Glanz, die Bruchflächen matten, und die Spaltungsflächen theils matten, theils schwachen Glasglanz.«

»Die Farbe ist hell gelbbraun; undurchsichtig oder blofs durchscheinend. Strich: isabellgelb. Härte: ungefähr wie Feldspath. Specifisches Gewicht = 2,3.«

»Verhalten vor dem Löthrohr: Für sich schmilzt der Katapleiit leicht zu einem klaren weifsen Email, mit Borax

Digitized by Google

oder Phosphorsalz läfst er sich schwierig zu einem klaren farblosen Glase auf. Kobaltsolution giebt der Probe eine schön blaue Farbe. Gepülvert wird er von Säuren leicht und ohne Gelatinirung zersetzt.«

»Das Mineral findet sich in einem grobkörnigen Syenit auf der Lamö (Lamanskär) bei Brevig, immer begleitet von Mosandrit, Leukophan, Zirkon, Aegirin, Tritomit u. s. w.«

Das Mineral, welches Hr. Weibye mir unter dem Namen *Katapleiit* übersandt hat, und dessen chemische Untersuchung ich mich nun beehre mitzutheilen, stimmt mit obiger Beschreibung überein. Jedoch habe ich gefunden, dafs es bei Zersetzung mit Salzsäure gelatinirt, und dafs sein specifisches Gewicht, nach drei Versuchen = 2,79 bis 2,81 ist.

Nachdem durch eine qualitative Untersuchung ermittelt worden, dafs das Mineral enthält: Kieselsäure, *eine der Zirkonerde gleichende Erde*, Natron, Kalk, Thonerde, Eisenoxydul, nebst einer unbedeutenden Spur von Talk und Mangan, wurde die quantitative Untersuchung nach zwei verschiedenen Methoden vorgenommen.

Bei der Analyse No. 1 wurde das über Schwefelsäure zu einem constanten Gewicht getrocknete Mineral mit Chlorwasserstoffsäure zerlegt. Nachdem die Kieselsäure, unter Zusatz einiger Tropfen Salpetersäure, auf gewöhnliche Weise abgeschieden und dem Gewichte nach bestimmt worden, wurde sie mit kohlensaurem Natron gebrennt und wieder ausgelatinirt. Aus der dabei erhaltenen sauren Auflösung fällte Ammoniak eine kleine Menge einer Erde, deren Gewicht von dem der Kieselsäure abgezogen wurde. Die saure Flüssigkeit, aus welcher die Kieselsäure zum ersten Male geschieden worden, wurde mit Ammoniak gefällt und der Niederschlag auf ein Filtrum gebracht; in der durchgegangenen Flüssigkeit wurde der Kalk als kohlensaurer Kalk, und das Natron als Chlornatrium bestimmt. Aus dem mit Ammoniak erhaltenen, geglühten und gewägten Niederschlag, welcher aus Zirkonerde nebst etwas Thonerde und Eisenoxyd bestand, wurden die beiden letz-

Digitized by Google

teren durch warme Chlorwasserstoffsäure ausgezogen und mit ätzendem Kali abgeschieden. Hiedurch wurde die Erde zwar nicht ganz eisenfrei, aber ihr Eisengehalt machte nur eine Spur aus. Der Wassergehalt wurde in einem besonderen Versuch durch Glühen bestimmt.

Bei der Analyse No. 2 bestimmte ich zuerst den Verlust des über Schwefelsäure getrockneten Minerals beim Glühen und brennte darauf das geglühte Mineral mit kohlensaurem Kali-Natron. Die aus der gebrennten Masse ausgelatinirte Kieselsäure wurde wieder mit dem Alkali gebrennt, wodurch ein kleiner Antheil Erde ausgezogen wurde. Aus der zum ersten Male von der Kieselerde abfiltrirten Flüssigkeit fällte man Zirkonerde, Thonerde und Eisenoxyd durch Ammoniak, und bestimmte in dem Durchgegangenen den Kalkgehalt. Der Niederschlag durch Ammoniak wurde in Chlorwasserstoffsäure gelöst und mit ätzendem Kali behandelt, wodurch Thonerde ausgezogen wurde, die man sodann auf gewöhnliche Weise bestimmte. Die ungelöste Zirkonerde wurde wieder in Säure gelöst, und, zur Abscheidung des anhängenden Alkalis, mit Ammoniak ausgefällt, dann geglüht und gewägt.

Der kleine Eisengehalt wurde mit warmer Chlorwasserstoffsäure ausgezogen. Der Natrongehalt ward bei dieser Analyse durch einen besonderen Versuch bestimmt. Der Gehalt an Kieselsäure ist bei diesen Analysen wahrscheinlich etwas zu niedrig ausgefallen, weil die Unlöslichkeit der geglühten Zirkonerde in Säuren nicht die Bestimmung der Kieselsäure zuläfst, welche dem Niederschlag durch Ammoniak mitfolgt. Dagegen ist der Gehalt an Zirkonerde etwas zu hoch, theils wegen des kleinen Kieselsäuregehalts, theils wegen eines unbedeutenden Eisengehaltes. Dazu kommt ein kleiner Alkaligehalt, welcher, ungeachtet mehrmaliger Fällungen durch Ammoniak, der mit Alkali behandelten Zirkonerde folgt; davon dürfte der Ueberschufs bei den Analysen herrühren.

Das Resultat dieser beiden Analysen war folgendes:

Digitized by Google

No. 1.

Mineral zerlegt durch Chlorwasserstoffsäure.

			Sauerstoffgehalt.	
Kieselsäure	46,83		24,31	6
Zirkonerde (?)	29,81	7,85	8,06	2
Thonerde	0,45	0,21		
Natron	10,83	2,77		
Kalk	3,61	1,02	3,92	1
Eisenoxydul	0,63	0,13		
Wasser	8,86		7,88	2
	101,02.			

No. 2.

Mineral durch kohlensaures Kali-Natron zerlegt.

Kieselsäure	46,52		24,15	6
Zirkonerde (?)	29,33	7,72	8,37	2
Thonerde	1,40	0,65		
Natron	10,06	2,58		
Kalk	4,66	1,33	4,02	1
Eisenoxydul	0,49	0,11		
Wasser	9,05		8,04	2
	101,51.			

Ueberdiefs bei beiden Analysen eine Spur von Mangan, Talk und Kali.

Nehmen wir an, das Atomgewicht derjenigen Erde, die in obigen Analysen Zirkonerde genannt wurde, sey 1139,456 so erhält die Formel, welche mit ihnen am meisten übereinstimmt, das Ansehen:

$$3(\dot{Na},\ \dot{Ca},\ \dot{Fe})\ddot{Si} + (\ddot{Zr}^2,\ \ddot{Al}^2)\ddot{Si}^3 + 6\dot{H}$$

oder

$$3\dot{Na}\ddot{Si} + \ddot{Zr}^2\ddot{Si}^3 + 6\dot{H}$$

nach welcher die procentische Zusammensetzung wird:

Kieselsäure	6 At.	= 3466,668	= 45,68	
Zirkonerde	2 »	= 2278,912	= 30,03	
Natron	3 »	= 1169,187	= 15,40	
Wasser	6 »	= 674,880	= 8,89	
		7589,647	100,00.	

Digitized by Google

Die im Katapleiit vorkommende Erde habe ich einstweilen Zirkonerde genannt, weil sie in vielen Fällen der Erde gleicht, welche in den Zirkonen und Hyazinthen enthalten und nach Svanberg ein Gemenge von mehren Erdarten ist. So wird die in Rede stehende Erde durchs Glühen unlöslich in Säuren, löst sich aber beim Schmelzen mit saurem schwefelsauren Natron. Ihre Lösung wird durch schwefelsaures Kali gefällt. Im kohlensauren Ammoniak ist sie löslich. Mit Chlorwasserstoffsäure giebt sie ein krystallisirendes Salz, welches bei gelinder Erhitzung einen Theil seiner Säure verliert, und in Wasser unlöslich wird. Aber in anderen Fällen weicht sie ab von den Eigenschaften welche der Zirkonerde zugeschrieben werden, nämlich:

1) Wird das specifische Gewicht der Zirkonerde zu 4,3 angegeben, während die Erde des Katapleiits das specifische Gewicht 5,5 besitzt.

2) Berzelius hebt es in seinem Lehrbuch [1]) und auch in seiner Abhandlung über die Thorerde [2]) als eine Verschiedenheit der Thorerde von der Zirkonerde hervor, dafs die Lösung der letzteren nicht durch Cyaneisenkalium gefällt werde. Die in Rede stehende Erde wird dagegen durch dieses Reagenz gefällt, was auch, nach H. Rose, mit der Zirkonerde der Fall seyn soll.

3) Die Zirkonerde giebt mit der Oxalsäure ein Salz, welches in einem Ueberschufs von Oxalsäure unlöslich, und in anderen Säuren schwer löslich ist. Darauf gründet sich die von Dubois und Silveira angegebene Methode, Zirkonerde von Eisenoxyd zu reinigen, nämlich, dieselbe mit einer Lösung von Oxalsäure zu kochen, wobei sich dann das Eisenoxyd löst, die oxalsaure Erde aber ungelöst zurückbleibt. Eine nicht saure Lösung der Erde aus dem Katapleiit wird wohl vom oxalsauren Ammoniumoxyd gefällt; aber dieser Niederschlag, welcher zwar schwer löslich in Wasser ist, löst sich nicht nur in einem Ueber-

1) Lehrbuch, 5te Aufl. Thl. III. S. 506

2) *Vetensk. Acad. Handl.* 1829. *p.* 16. (Ann. Bd. XVI, S. 395.)

Digitized by Google

schufs des Fällmittels, mit welchem es ein krystallisirendes Doppelsatz bildet, sondern auch in einem geringen Zusatz von aufgelöster Oxalsäure oder von Chlorwasserstoffsäure. Eine saure Lösung wird weder von Oxalsäure noch von dessen Ammoniumsalz gefällt. Ebenso löst sich das Hydrat der Erde bei gewöhnlicher Temperatur mit Leichtigkeit in einer Lösung von Oxalsäure.

Da die Erde, welche zu ungefähr 30 Proc. im Katapleiit vorkommt, sich besonders durch ihr Verhalten zur Oxalsäure bestimmt von der Zirkonerde unterscheidet, wie sie von Berzelius, Herrmann und H. Rose beschrieben worden ist, so dürfte sie ohne Zweifel eine von der Zirkonerde verschiedene Erdart seyn.

In wiefern sie identisch sey mit einer der mehr als zwei Erden, welche nach Svanberg in den nordischen Zirkonen vorkommen, von denen eine Norerde genannt worden ist, habe ich nicht entscheiden können, weil einige bestimmte Reactionen der Norerde noch nicht aufgefunden oder angegeben sind. Zwar giebt Svanberg an [1]), dafs unter den Erdarten im norwegischen Zirkon das oxalsaure Salz der einen sich schwerlöslicher in Säuren als das oxalsaure Salz einer anderen erweise; aber es ist wenig wahrscheinlich, dafs bei einem dieser Salze eine so auffallende Leichtlöslichkeit, wie die, welche das oxalsaure Salz der Erde aus dem Katapleiit auszeichnet, nicht sollte angeführt worden seyn als charakteristische Eigenschaft der Norerde oder sonst einer der Erden des Zirkons.

Ungeachtet dieser Unvollständigkeit in den Angaben über die im Katapleiit vorkommende Erde wage ich es die Resultate der Analyse dieses Minerals der K. Academie vorzulegen. Beschäftigt in diesem Augenblick mit einigen vergleichenden Versuchen über die Erdarten im norwegischen Zirkon und der Erde im Katapleiit, könnte ich möglicherweise künftig in den Fall kommen, einige nähere Angaben in Betreff der letzteren mitzutheilen.

1) *Kongl. Vetensk. Acad. Handl. f.* 1845 *p.* 35. (Ann. Bd. 65, S. 317.)

Digitized by Google

XI. *Neues Psychrometer; von Hrn. H. Walferdin*

(*Compt. rend. T. XXXIII., p.* 454.)

Eins der einfachsten Verfahren, welches man gegenwärtig anwendet, um den Feuchtigkeitszustand der Luft zu ermitteln, besteht darin, dafs man die Angaben eines trocknen Thermometers vergleicht mit denen eines anderen Thermometers, dessen Kugel feucht gehalten wird. Das letztere steht tiefer als das erstere und daraus leitet man mittelst Tafeln die Spannkraft des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes her. Auf diesem Princip beruht die Construction des Instruments, welches gegenwärtig unter dem Namen des *August'schen Psychrometers* bekannt ist.

Zu diesem Apparat sind zwei genau übereinstimmende Thermometer erforderlich, die wenigstens noch Zehntelgrade angeben. Sie sind neben einer Metallscale angebracht und die Kugel des einen ist umhüllt mit Battist oder Musselin, der durch einen in ein Näpfchen voll Wasser tauchenden Faden feucht erhalten wird. Allein man weifs, welche Schwierigkeit es hat, zwei bis auf Zehntelgrade übereinstimmende Thermometer zu verfertigen, vor allem, wenn sie nicht auf dem Stiel selbst getheilt, sondern neben einer Scale aufgestellt sind. Die beiden so aufgestellten Instrumente sind überdiefs nothwendig den Fehlerquellen ausgesetzt, welche die Strahlung der Umgebung am Orte der Beobachtung veranlafst. Endlich ist der Apparat schwer zu transportiren und auf Reisen mitzunehmen.

Erwägt man, dafs die gröfsten Unterschiede, die man bisher in Europa zwischen den Thermometern mit trockner und feuchter Kugel beobachtet hat, nicht über 10 bis 12 Centesimalgrade hinausgehen, so wird man begreifen, dafs ein Instrument, welches auf der ganzen Länge seines Stiels höchstens 15 Grad besitzt, aber diesen Werth bei allen Temperaturen der Atmosphären bewahrt, die Bedingungen zu dieser Art von Beobachtungen am besten erfüllen wird.

Digitized by Google

Hat der Stiel des Instruments z. B. eine Länge von etwa 3 Decimeter (11 par. Zoll), so kann er in 8 bis 900 Theile getheilt werden, und da dann jeder Grad 50 bis 60 solcher Theile umfafst, so ist es leicht, nicht allein Zehntel sondern gar Funfzigstel und Sechszigstel eines Grades abzulassen.

Der Vortheil der Anwendung dieses Instruments würde noch gröfser, wenn es für sich allein im Stande wäre, die beiden Angaben des trocknen und des feuchten Thermometers zu liefern. Vom identischen Gang in beiden Fällen, würde es somit strenge vergleichbar mit sich bei beiden Beobachtungen.

Die Anwendung des Differentialthermometers, welches ich der Academie in ihrer Sitzung von 10. Jan. 1842 vorlegte, scheint mit den eben bezeichneten Bedingungen zu genügen [1]).

Um dasselbe zweckmäfsig zu construiren, mufs man, wie ich angegeben habe, sich einer Röhre von solcher Capillarität bedienen, dafs, nachdem man das eine Ende derselben zu einem Behälter ausgeblasen hat, Quecksilber nicht auf die gewöhnliche Weise in dieselbe hinein zu bringen ist, wohl aber Alkohol, indem er sie inwendig benäfst. Die somit durch Alkohol benäfsten Wände der Röhre erlauben einem Quecksilbertröpfchen den Eingang und dieses Kügelchen dient dann als Zeiger.

Das Tröpfchen wird in einer kleinen seitlichen Erweiterung des oberen Theils des Instruments zurückgehalten, und nach Belieben in die Röhre gestofsen. Vermöge der Ausdehnung oder Zusammenziehung, welche der Alkohol erfährt, sinkt oder steigt es darin und bewegt sich bei der geringsten Temperaturveränderung mit Schnelligkeit.

Man begreift, dafs der Behälter des so construirten Alkohol-Differentialthermometers vermöge der Capillarität

1) Rücksichtlich der verschiedenen Formen, die man diesem Instrumente, je nach seiner Bestimmung, zu geben hat, sehe man die Abbildungen im *Bulletin de la Société Géologique de France T. XIII.* und in Poggendorff's Annalen Bd. LVII.

Digitized by Google

der Röhre nur eine sehr unbedeutende Gröfse zu haben braucht, und dafs er beträchtlich kleiner seyn kann als der Behälter eines Quecksilberthermometers mit der capillarsten Röhre. Man erhält auf diese Weise Instrumente von umfangreichem Gang, obwohl ihre Kugel ein sehr kleines Volum besitzt.

Ehe ich zeige, wie ich dieses Instrument zu den besagten Untersuchungen anwende, mufs ich daran erinnern, dafs das üblichste und einfachste Verfahren zur Bestimmung der Lufttemperatur darin besteht, dafs man ein Thermometer mit keinem Behälter im Kreise herumschwenkt; man sucht auf diese Weise die Fehlerquellen zu vermeiden, welche dergleichen Beobachtungen anhaften, wenn das Thermometer an seinem Orte bleibt.

Indem ich nun ein und dasselbe Instrument, welches nur 12 bis 15 Grade umfafst, für die eine und die andere Beobachtung im Kreise herumschwenke, mache ich es geeignet, psychrometrische Angaben zu liefern.

Nachdem ich das Instrument die Temperatur der Umgebung habe annehmen lassen, stofse ich den Quecksilbertropfen aus der seitlichen Erweiterung am Eingang der Röhre, und schwenke es dann an einer seidenen Schnur von 1 bis 1,5 Decimeter Länge im Kreise herum. Da hiebei gewöhnlich eine Temperatursenkung stattfindet, so begiebt sich der Quecksilbertropfen in den oberen Theil des Stiels, und man liest die erste Angabe mit Leichtigkeit ab. Sollte die Temperatur nicht sinken, so braucht man sie nur, durch Annäherung der Hand an den Behälter des Instruments, ein wenig zu erhöhen, damit das Quecksilbertröpfchen hernach bei der gewöhnlichen Temperatur in den Stiel sinke.

Hierauf bekleide ich die Kugel des Instruments mit einer doppelten Hülle von benäfstem Battist oder Mousselin, binde diese an den Hals des Stiels fest und schwenke nun das Ganze abermals im Kreise herum. Bald findet die Erkaltung statt und ich notire wiederum die Angabe.

Es ist leicht, aus der Gröfse der Kugel, die Zeit und

Digitized by Google

Schnelligkeit im Voraus zu bestimmen, welche das Instrument erfordert, um sich mit den schwächsten Temperaturvariationen in Gleichgewicht zu setzen. Jedoch zeigt das Quecksilbertröpfchen, bewegt durch die Contraction des Alkohols, das Minimum der Temperatur, dem es ausgesetzt war, erst einige Sekunden nach dem man es herumgeschleudert hat, an, und dadurch gewinnt man den Vortheil, die Ablesung bei beiden Beobachtungen nicht eher machen zu brauchen als im Moment, wo das Tröpfchen aufhört im Stiel zu sinken.

Endlich bemerke ich, dafs man sogar die nasse Mousselinhülle bei der zweiten Beobachtung entbehren könnte, wenn man der Kugel des Instrumentes eine ganz rauhe Oberfläche gäbe oder auf dem Stiel einige Rinnen anbrächte, von solcher Tiefe, um Feuchtigkeit zurückzuhalten, während das Thermometer herumgeschleudert wird.

Ich halte es nicht für unnütz hier anzugeben, wie es mir gelungen ist, Röhren zu aichen (*jauger*), die so capillar sind, dafs man das Quecksilber durch die gegenwärtig zur Construction der genauesten Thermometer angewandten Verfahrungsweisen nicht hineinbringen kann.

Erst nachdem das Instrument mit Alkohol gefällt worden, ist es möglich eine Quecksilbersäule von 15 bis 18 Millimeter hineinzubringen und diese führt man den ganzen Stiel entlang und merkt sich ihre Enden, um so mittelst einer willkührlichen Scale von Abtheilungen gleicher Capacität die Cylindricitätsmängel des Stiels zu compensiren. Nach Vollendung dieser Operation treibt man die aichende Quecksilbersäule heraus und ersetzt sie durch die, welche als Zeiger dient, und nur 2 bis 3 Millimeter lang ist. Darauf verschliefst man das Instrument vor der Lampe.

Bei der Construction dieser Instrumente, was auch ihr Zweck seyn möge, hat man besonders darauf zu sehen, dafs Alkohol und Quecksilber vollkommen rein seyen, und ein fremder Körper z. B. ein mikroskopisches Glassplitterchen, wie es vor der Lampe nur gar zu leicht abspringt, den Gang derselben nicht störe.

Ich füge hinzu, dafs eine im Voraus entworfene Tafel

Digitized by Google

die Anzahl der einem Grade entsprechenden Abtheilungen von 5 zu 5 oder von 10 zu 10 Graden kennen lehrt, so dafs man, bei welcher Temperatur man auch die beiden Beobachtungen machen möge, genau die Angabe von dem Werthe der Unterschiede bei beiden Beobachtungen erhält, gleichviel, ob man nun blofs die relativen oder die absoluten Werthe suche.

Man sieht, wie man mit einem einzigen thermometrischen Instrument, dessen Behälter nur 3 bis 4 Millimeter im Durchmesser hält und dessen Gang nur 15 Grade umfafst, von denen aber jeder wenigstens in 50 Theile getheilt ist, dahin gelangt die Temperatur des trocknen und des feuchten Behälters innerhalb der Gränzen, für welche das August'sche Psychrometer eingerichtet ist, mit aller möglichen Genauigkeit zu bestimmen.

Mittelst des vorgeschlagenen Psychrometers sind die Fehler, die aus der Anwendung zweier, an einer und derselben Scale (*plaque*) angebrachter Thermometer entspringen [1]), vermieden und der Feuchtigkeitszustand der Luft wird sich künftig auf Reisen ebenso leicht wie der Barometerstand beobachten lassen.

XII. *Ein neuer Zerleger für elliptisch polarisirtes Licht; vom Prof. Stokes in Cambridge.*

(*Phil. Mag. Ser. IV. T. II. p.* 420.)

Die Unbequemlichkeiten des Fresnel'schen Rhomboëders haben Hrn. Prof. Stokes veranlafst, statt dessen ein Instrument von folgender Einrichtung zu construiren.

Ein messingener Ring ist so gefafst, dafs er mit lothrechter Ebene auf einen Tisch gestellt werden kann. Innerhalb dieses Ringes dreht sich eine graduirte Scheibe,

1) Schwerlich dürfte indefs bei uns ein Psychrometer angewandt werden, von dessen Thermometern nicht jedes eine Scale für sich besäfse. *P.*

Digitized by Google

und der Winkel ihrer Drehung wird an Nonien auf der Vorderseite des Ringes bis auf Zehntelgrade abgelesen. Die Scheibe ist in der Mitte durchbohrt und trägt auf Seite des einfallenden Lichts eine verzögernde Gypsplatte von solcher Dicke, dafs sie zwischen den unter sich winkelrecht polarisirten Strahlen einen Verzögerungsunterschied von etwa einer Viertelwelle giebt. Vorne trägt sie, concentrisch mit sich, einen hohlen Cylinder, um welchen sich eine Fassung dreht, die ein Nicol'sches Prisma enthält und mit zwei Nonien versehen ist, an welchen man den Winkel der Drehung des Prismas abliest. Dadurch kann das Prisma sowohl für sich, als zugleich mit der verzögernden Platte im Azimut gedreht werden.

Beim Beobachten wird das Licht durch eine Combination zweier Bewegungen ausgelöscht, nämlich erst das elliptisch polarisirte Licht durch die verzögernde Platte in geradlinig polarisirtes verwandelt und dieses dann durch das Nicol'sche Prisma vernichtet. Wegen der chromatischen Variationen wird jedoch das Licht, strenge genommen, nur dann ausgelöscht, wenn es homogen ist, sonst nur auf ein Minimum reducirt; und für jede Lage giebt es vier untergeordnete Lagen, weil entweder die verzögernde Platte oder das Nicol'sche Prisma um 180° gedreht werden kann. Der gröfseren Genauigkeit wegen, kann aus diesen vier untergeordneten Lagen das Mittel genommen werden.

Seyen R und R' die Ablesungen der festen, r und r' die der beweglichen Nonien in den beiden Hauptlagen; I der Indexfehler der festen Nonien d. h. das Azimut der grofsen Axe der beschriebenen Ellipse, gemessen von einer in der Scheibe festen Ebene aus; i der Indexfehler der beweglichen Nonien, d. h. der Azimut der Hauptebene des Prisma, gemessen von einer festen Ebene in der Scheibe aus; ω der Winkel, dessen Tangente gleich ist dem Verhältnifs der Axen der beschriebenen Ellipse; ϱ der Unterschied in der Verzögerung der beiden durch die Platte gehenden unter sich winkelrecht polarisirten Strahlen, gemessen als ein Winkel im Verhältnifs von 360° zu einer Un-

Digitized by Google

dulation. Dann werden die unbekannten Gröfsen I, i, ω und ϱ gegeben in Function der bekannten Gröfsen R, R', r und r' durch die folgenden Formeln, die für die numerische Berechnung sehr bequem sind:

$$I = \tfrac{1}{2}(R' + R); \qquad i = \tfrac{1}{2}(r' + r)$$

$$\cos 2\omega = \frac{\sin(r'-r)}{\sin(R'-R)}; \qquad \cos\varrho = \frac{\operatorname{tang}(r'-r)}{\operatorname{tang}(R'-R)}.$$

Hr. Stokes giebt an, dafs diefs Instrument, nach einiger Uebung sehr befriedigende Resultate liefere. Als Wolkenlicht an einem Spiegel horizontal reflectirt, und dann so modificirt wurde, dafs es elliptisch polarisirtes Licht mit einem Axenverhältnifs von etwa 3 : 1 gab, fand sich, dafs der mittlere Fehler einer einzelnen Beobachtung in der Bestimmung des Azimuts der grofsen Axe etwa ein Viertelgrad, in der Bestimmung des Verhältnisses der kleinen zur grofsen Axe etwa drei bis vier Tausendstel, und in der Bestimmung von ϱ etwas mehr als ein Tausendstel einer Undulation betrug.

Da die Gröfse von ϱ von der Wellenlänge oder, was auf dasselbe hinausläuft, von der Brechbarkeit des Lichts abhängt, so folgt, dafs die Kenntnifs des ersteren zur Kenntnifs der letzteren führt. Man kann also sagen, das Instrument bestimme Azimut und Excentricität der beschriebenen Ellipse und die Brechbarkeit des Lichts. Ein Fehler von 0,001 einer Undulation in der Bestimmung von ϱ würde in dem Orte des untersuchten Lichts im Spectrum einem Fehler von weniger als dem zwanzigsten Theil des Abstandes zwischen den festen Linien D und E entsprechen. Nun ist es durch Anwendung der beobachteten Media möglich, ohne zu grofse Schwächung des angewandten Lichts, dessen mittlere Brechbarkeit bedeutend zu ändern, und dennoch kann für jedes Medium die Brechbarkeit sehr genau mittelst des Werthes von ϱ bestimmt werden. Daher eignet sich dann das Instrument besonders zu Untersuchungen über die Dispersion der Metalle und zu ähnlichen Aufgaben.

Digitized by Google

XIII. *Notiz über den Sommit (Nephelin) Mizzonit und Mejonit; von Arcangelo Scacchi.*

Sommit (Nephelin) Fig. 16 Taf. II. (Heft II).

Gemessene Winkel.	Berechnete Winkel.	Winkel nach der Angabe vom Jahr 1842 [1]).	Bezeichnung.
A zu *e* : 158° 52′	158° 54′ 5	—	von $e = a : 5b$
* *A* zu e^2 : 154° 15′ 5	154° 15′ 5	154° 14′	von $e^2 = a : 4b$
A zu e^3 : 147° 18	147° 15′ 8	147° 16′	von $e^3 = a : 3b$
A zu e^4 : 136°	136° 2′ 4	136° 1′	von $e^4 = a : 2b$
A zu e^5 : 117° 22′	117° 24′ 4	117° 23′	von $e^5 = a : b$
A zu e^6 : 104° 35′	104° 32′ 0	146° 32′	von $e^6 = a : \frac{1}{2}b$
A zu e^7 : 99° 45′	99° 48′ 2	—	von $e^7 = a : \frac{1}{3}b$
A zu *m*: 121° 0′	120° 54′ 4	120° 53′	von $m = a : \frac{1}{3}b$
A zu *B*: 90°	90°	90°	
B zu *i* : 150°	150°	150°	
B zu i^2 : 160° 47′	160° 53′	160° 53′.	

Alle diese Flächen finden sich an einem Krystall von der Varietät, die man Davyn nennt, der einen sehr deutlichen Blätterdurchgang nach der Fläche *B* zeigt. Diese Krystalle waren in einer Kalkgeode vom Monte Somma mit grünlichen Sodalitkrystallen.

Mizzonit Fig. 17 und Mejonit Fig. 18 Taf. II.

Gemessene Winkel des Mizzonits.	Gemessene Winkel des des Mejonits.
B zu *m* = 147° 57′	
m zu *m′* = 115 52	*m* : *m′* = 116° 20′
m zu *m″* = 135 56	*m* : *m″* = 136 11.

Der Mizzonit ist dadurch vom Mejonit verschieden, dafs die Flächen *i* sehr viel ausgedehnter sind als die Fläche *B* und dafs sie *Längsstreifung* zeigen. Die Fläche *A* findet sich häufig am Mizzonit und nur sehr selten am Mejonit; bis jetzt habe ich keine der übrigen Mejonitflächen am Miz-

1) Notiz über die Krystallform des Sommits im *Rendi conto della R. Academia delle Scienze di Napoli No.* 2 *p.* 129 u. ff.

Digitized by Google

zonit gefunden. Dieſs seltene Mineral findet sich in einem Gestein des Monte Somma, das zum gröfsten Theil aus Feldspath besteht, während der Muttergestein des Mejonits fast immer Kalk ist. Beim Schmelzen bläht sich der Mizzonit nicht so sehr auf als der Mejonit, und löst sich auch nicht so leicht als dieser in Säuren. Oft finden sich die Mizzonitkrystalle als perlmutterglänzende Nadeln.

XIV. *Notizen.*

1. *Formel für die Ausdehnung einiger Flüssigkeiten durch die Wärme*; von Hrn. M. J. Macquorn Rankine. Die Formel gilt für Wasser, Quecksilber, Alkohol und Schwefelkohlenstoff u. dgl. und ist:

$$\text{Log } V = Bt + \frac{C}{t} - A.$$

Log V ist der gemeine Logarithme des Volums der Flüssigkeit, verglichen mit deren Volum bei der Normaltemperatur, die für Wasser 4°,1 C. und für die übrigen Flüssigkeiten 0° C. ist; t bezeichnet die Temperatur, gemessen vom absoluten Nullpunkt, und wird nach dem Verfasser (*New. Philosoph. Journ.* 1849 *Juli*) gefunden, wenn man 274°,6 zu den Graden der Centesimalscale addirt. A, B und C sind Constanten, die von der Natur der Flüssigkeiten abhängen und folgende Werthe haben

	A.	log B.	log C.
Wasser	0,4414907	0,8987546 − 4	1,7890286
Quecksilber	0,0229130	0,9048766 − 5	0,3703897 − 1
Alkohol	0,2615033	0,8414452 − 4	1,2893056
Schwefelkohlenstoff	0,2540074	0,8483872 − 4	1,2192054

Der Vergleich der nach dieser Formel berechneten Werthe mit den von Hällström, Gay-Lussac und Regnault beobachteten, zeigt eine sehr genügende Uebereinstimmung (Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den *Edinb. New. Phil. Journ.* 1849 *Oct.*)

Digitized by Google

2. *Gesetz der Zusammendrückbarkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen.* Aus den Versuchen von Grassi (*Compt. rend. T. XXVII. p.* 135) findet Hr. W. J. Macquorn Rankine folgendes Gesetz: *die Zusammendrückbarkeit des Wassers ist umgekehrt proportional der Dichtigkeit, multiplicirt mit der Temperatur, diese gemessen vom absoluten Nullpunkt eines vollkommenen Lufthermometers* d. h. von — 274°,6 C. oder — 462°,28 F. Symbolisch ausgedrückt heifst es:

$$\mathfrak{b} = \frac{1}{KtD},$$

worin $\mathfrak{b}$ der Bruch, um welche die Volumeinheit des Wassers durch den Druck von einer Atmosphäre comprimirt wird, D die Dichte des Wassers, dabei die Maximums-Dichte als Einheit genommen, t die Temperatur, vom absoluten Nullpunkt gezählt; und K eine Constante, die für die Centesimalscale 72 Atmosphären pro Grad, und für Fahrenheit's Scale 40 Atmosphären pro Grad beträgt. Diese Formel liefert folgenden Vergleich:

t.	Compressibilität pro Atmosph. berechnet.	Compressibilität pro Atmosph. beobachtetet.	Unterschied.
0° C.	0,000050504	0,000050560	— 0,000000024
10 ,8	48679	48705	+ 26
13 ,4	48252	48378	+ 126
15 ,5	47915	47745	— 170
25 ,9	46353	45843	— 510
34 ,8	45140	45573	+ 433
43 ,0	44158	44414	+ 256
53 ,3	42931	44336	+ 1405

D ist nach Formel S. 479 berechnet. Die Zusammendrückbarkeit des Wassers folgt also demselben Gesetz wie die eines Gases (*Phil. Mag. Ser. IV. Vol. I. p.* 549.)

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

Digitized by Google

ANNALEN
DER PHYSIK UND CHEMIE.
Bd. III. ERGÄNZUNG. St. 4.

I. *Sieben und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität;*

von Michael Faraday.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser aus den *Philosoph. Transact f.* 1851.)

§. 33. Ueber den atmosphärischen Magnetismus, Fortsetzung.

II. Experimentelle Untersuchung der Gesetze der magnetischen Wirkung der Atmosphäre und deren Anwendung auf besondere Fälle.

2969. In dem Glauben, das Experiment könne zur Entwicklung der allgemeinen Principien des atmosphärischen Magnetismus viel beitragen und rasch eine Masse von Thatsachen sammeln, auf welche dann später die Physiker weiter zu bauen vermöchten, bemühte ich mich, Mittel anfzufinden, um die Wirkung der durch die Sonne erwärmten Atmosphäre auf die Magnetcurven der Erde practisch darzustellen. Die Absicht war, eine centrale Kraft-Anordnung zu erhalten, welche diese Curven oder Linien ablenkte, wie sie in einem diamagnetischen Leiter oder einer heifsen Luftkugel (2877) abgelenkt werden, und dann die durch eine solche Anordnung erhaltenen Resultate anzuwenden als ein partielles Prüfmittel der mannigfaltigen Fälle, welche uns die auf der Erde zerstreuten magnetischen Observatorien darbieten. Zunächst bemühte ich mich, der Bequemlichkeit halber, diefs mittelst eines Hufeisenmagnets zu erreichen, indem ich die von Pol zu Pol gehenden Linien anwandte, die Erdkraft zu stören und wieder herzustellen; allein die verhältnifsmäfsige Schwäche der Erdkraft in der Nähe des Magnets und das starke Vorherrschen der Pole des letztern gaben zu vielen Uebelständen Anlafs, welche mich bald bewogen, diese Methode zu verwerfen und ein Ringgewinde

Digitized by Google

(*ring-helix*) nebst einem Volta'schen Apparat zu Hülfe zu nehmen. Der neue Gebrauch, der hier von diesem Gewinde gemacht wird, das Interesse der Resultate und die daraus zu ziehende Belehrung, mögen mich entschuldigen, wenn ich in der Beschreibung des Charakters und der Wirkung desselben etwas elementar bin.

2970. Das Gewinde bestand aus etwa 12 Fufs übersponnenen Kupferdrahts, zu ungefähr 25 Windungen aufgewickelt, und hielt $1\frac{1}{7}$ Zoll im äufseren Durchmesser. Die Enden der Drähte waren zusammengedreht, um jede magnetische Wirkung derselben zu vernichten, und sie hatten Länge genug, um eine Volta'sche Batterie zu erreichen, und doch dem Gewinde eine freie Bewegung zu gestatten. Wie viel Magnetkraft in dem Gewinde erforderlich war, mag durch folgende Betrachtungen beurtheilt werden. Man denke sich eine Magnetnadel frei aufgehängt und dann das Gewinde in einiger Entfernung von der Nadel aufgestellt, mit seiner Axe in verlängerter Linie derselben und ihr mit der Seite zugewandt, welche bei geringer Entfernung eine Abstofsung bewirken würde. Die Nadel wird den magnetischen Meridian mit einer gewissen Kraft behaupten, allein so wie das Gewinde ihr nahe gebracht wird, mit immer geringerer Kraft, und bei einem gewissen Abstand wird sie nicht mehr in dem Meridiane bleiben, sondern nach der einen oder anderen Seite abweichen. Es giebt einen gewissen Abstand, bei welchem die Nadel, so lange sie in dem Meridian ist, sich in einer instabilen Gleichgewichtslage befindet, jenseits aber in einer stabilen; die Gröfse dieses Abstandes ist verschieden nach der Stärke des elektrischen Stromes. Die Kraft des Gewindes mufs eine solche seyn, dafs wenn es gegen die Nadel endet, diese eine stabile Gleichgewichtslage in dem Meridiane besitzt. Ein Plattenpaar ist ganz hinreichend, das Gewinde so magnetisch zu machen als für Abstände von 4 bis 24 Zoll nöthig ist. Ist die Nadel entweder mit einem Magnet oder einem Gewinde im Norden oder Süden gehörig angeordnet, so geht, wenn der Magnet oder das Gewinde nach Westen be-

Digitized by Google

wegt wird, ihr näheres Ende nach Osten, und so umgekehrt.

2971. Wie bekannt, hat ein solches Gewinde ein System von Magnetlinien, welches durch ihre Axe geht, sich dann nach aufsen biegt, um die Aufsenseite herumgeht und nun durch die Axe wieder eintritt, so dafs die Kreise der Magnetkraft überall winkelrecht sind auf dem die Gänge des Gewindes durchlaufenden elektrischen Strom; und nun hatte ich eine Quelle von Magnetkraftlinien genau von der erforderlichen Art um, in Gemeinschaft mit der der Erde, eine Kraft-Anordnung hervorzubringen, die entweder mit der paramagnetischen oder diamagnetischen Polarisation (2865. 2877) coïncidirte.

2972. Sey Fig. 29 Taf. I. [1]) ein Durchschnitt des Gewindes, parallel seiner Axe, so werden die beiden Kreise die Anordnung der Magnetkraft in diesem Durchschnitt vorstellen; die Pfeile dienen zur Anzeige derjenigen magnetischen Richtung, welche den vom Nordende eines Magnets ausgehenden Kraftlinien angehört. Wenn solch ein System plötzlich inmitten der terrestrischen Linien erregt wird, so wirkt es auf sie, je nach der Richtung des Gewindes in Bezug auf die Richtung der Erdkraft. Wählen wir die beiden Lagen, in welchen die Axe des Gewindes parallel ist der natürlichen Richtung der Kraft, wie sie eine freie Nadel an dem Beobachtungspunkte zeigt, so werden zwei entgegengesetzte Effecte erzeugt, welche, in Bezug auf die äufseren Linien des Gewinde-Systems, der Polarität von paramagnetischen und diamagnetischen Leitern entsprechen. Ist z. B. das Gewinde so gestellt, dafs die Polarität seiner Magnetlinien aufserhalb des Ringes und in der Ebene desselben mit der der Erdkraft übereinstimmt, wie in Fig. 30 Taf. I., so werden die Erdlinien abgelenkt, wie abgebildet, und eine in *a* befindliche Magnetnadel, die ihre Lage durch den Einfluss der Erde angenommen hat, wird bei Annäherung des Gewindes diese Lage nicht ändern, obwohl sie eine stärkere Einwirkung erleidet. Auf

1) Schon dem ersten Hefte beigegeben. *P.*

Digitized by Google

anderen Theilen der Linie *bac* wird sie ihre Lage ändern, da sie sich als Tangente zur Krümmung stellt, und deshalb, wenn sie längs der Linie (oder durch die benachbarten Linien) fortgeführt wird, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite abweicht, statt sich parallel zu bleiben, wie im Fall der Abwesenheit des Gewindes.

2973. Wird andrerseits das Gewinde in die zweite Lage gedreht (2972), so ist der Effect auf die benachbarten Kraftlinien der in Fig. 31 Taf. I. abgebildete. Nadeln, die in *d* und *e* befindlich sind, werden wiederum aus der ihnen von der Erde gegebenen Lage abgelenkt, aber ihre Ablenkung erfolgt, in entsprechenden Lagen, in entgegengesetzter Richtung wie bei der früheren Anordnung. Diese Figur repräsentirt die paramagnetische Anordnung der Kräfte, wie die frühere die diamagnetische.

2974. Ich behaupte nicht, dafs diese Kraft-Anordnungen im Ganzen denen bei paramagnetischen und diamagnetischen Leitern gleich sey. Unabhängige Systeme sind hier mitten in die Kraft der Erde eingeführt, und der centrale Theil jeder Anordnung mufs deshalb ausgenommen werden. Es giebt auch Anziehungen einwärts und Abstofsungen auswärts, wenn die Nadel sich in *a* und *f* befindet, welches im Fall einer blofsen magnetischen Leitung nicht der Fall ist. Allein aufserhalb dieser Gewind-Systeme und auf Abstände von 2 Zoll bis 2 oder 3 Fufs stimmt die den Kraftlinien der Erde eingeprägte Anordnung überein mit der von paramagnetischen und diamagnetischen Leitern erzeugten. Diese veränderten Kraftlinien und die im Grofsen der Natur durch die Sonne und Atmosphäre verzogenen sind in ihrer Natur vergleichbar und können als Repräsentanten von einander betrachtet werden.

2975. Um ein einfaches Resultat von der Wirkung eines solchen Kraftcentrums auf die Magnetlinien der Erde zu erhalten, befestigte ich einen Stab in Richtung der Neigungsnadel, und am Fufs desselben eine Tafel (*plane*) parallel mit dem magnetischen Aequator in London. Dann hing ich einen kleinen Magnet von 0,5 Zoll Länge an Co-

Digitized by Google

conseide auf, so, dafs er dem magnetischen Aequator parallel war, und sich nahe bei der Tafel am Fufs des die Neigung vorstellenden Stabes befand. Das Gewinde (2970) wurde dann so mit der Volta'schen Kette verbunden, dafs jeden Augenblick geschlossen, und ersteres, immer parallel mit sich und dem magnetischen Aequator, von allen Seiten, von oben und unten, der Nadel nahe gebracht, und die Wirkung auf dieselbe beobachtet werden konnte. Da die Wirkung der Sonne dargestellt werden sollte, so wurde der Strom in solcher Richtung durch das Gewinde geleitet, dafs die obere Seite desselben das Nordende einer Magnetnadel abgestofsen haben würde; denn dann würde ein aufserhalb des Ringes und in der Ebene desselben befindlicher Magnet seine Lage nicht geändert haben und die Anordnung der Erdkräfte unter dem Einflufs des Gewindes war wie in Fig. 30 Taf. I. oder wie bei einem diamagnetischen Leiter.

2976. Bei Anstellung derartiger Versuche und besonders wenn das Gewinde absichtlich in bedeutender Entfernung von der Nadel gehalten wird, ist es besser, dasselbe, statt es beständig mit der Batterie in Verbindung zu halten und dann auswärts oder neben der Nadel fortzuführen, an den Ort zu bringen, für welchen seine Wirkung beobachtet werden soll, und nun die Batterie zu schliefsen. Die Bewegung und Richtung ist dann leicht zu beobachten, und sollte sie wegen der Entfernung nur schwach seyn, so läfst sie sich dadurch, dafs man die Kette einige Male isochron mit den Schwingungen der Nadel schliefst und öffnet, in jedem erforderlichen Grade steigern.

2977. Es giebt gewisse Lagen in Bezug auf die Nadel als Centrum, die man klar verstehen mufs. Die Magnetaxe ist eine Linie durch das Centrum der freien regulären Nadel, parallel der Richtung der terrestrischen Kraftlinien wie diese auch an dem Orte der Anstellung des Versuchs beschaffen seyn mag. Die Ebene des magnetischen Aequators ist eine Ebene, die, winkelrecht zur Magnetaxe, durch das Centrum der Nadel geht. Die Ebene des magnetischen

Digitized by Google

Meridians ist diejenige, welche mit der Magnetaxe und auch mit der Richtung der Nadel coïncidirt. Diese Lage findet sich immer bei den zur Beobachtung angewandten Magneten in Folge ihrer Aufhängungsart; sie würde aber nicht angenommen werden von einer Nadel, deren mechanische Axe, auf der sie winkelrecht wäre, in der Magnetaxe läge.

2978. Als das Gewinde, gelegen wie zuvor erklärt (2975), irgendwo in dem *magnetischen Meridian* befindlich war, übte es keine ablenkende Wirkung auf die Declinationsnadel aus; ebenso verhielt es sich in der Ebene des magnetischen Aequators. Diefs sind die beiden einzigen Orte, in welchen es die Lage der Nadel nicht verändert.

2979. Diese beiden Ebenen keiner Einwirkung theilen den Raum um den Magnet in vier Quadranten, und, wenn das Gewinde sich in einem derselben befindet, ändert es die Richtung der Nadel. Die Ablenkung der Kraftlinien für zwei benachbarte Quadranten hat entgegengesetzte Richtung, so dafs, wenn das Gewinde aus der neutralen Linie in den einen oder anderen Quadranten übergeht, die Ablenkung der Nadel sich ändert.

2980. Wird das Gewinde oberhalb oder unterhalb des magnetischen Aequators um die Magnetaxe herum, also längs einem Breitenkreise fortgeführt, so macht die Nadel, während dieses Umganges, *eine* grofse Oscillation nach der Rechten und eine andere nach der Linken. Gesetzt, das Gewinde sey zu Anfang des Versuchs oberhalb des Aequators und in der Ebene des magnetischen Meridians nördlich von der Nadel; wenn es dann durch West nach Süd und Ost zu seiner ursprünglichen Lage zurückkehrt, wird das Nordende der Nadel zuerst nach Westen gehen, dann stillstehen und nach Osten zurückkehren, durch seine Mittellage gehen, endlich nach Westen zurückkehren und seine ursprüngliche Richtung einnehmen. So lange das Gewinde im magnetischen Osten der Nadel ist, wird es eine und dieselbe Ablenkung bewirken, und ebenso auch so lange es im Westen ist. Die Ablenkung wird mehr oder weniger grofs seyn, ihre Richtung in Bezug auf den neutralen

Digitized by Google

Ort aber nicht ändern. Ob das Gewinde nördlich oder südlich von der Magnetnadel liegt, hat, zwar auf den Betrag, nicht aber auf die Richtung der Ablenkung Einfluſs, sobald es nur auf dieselbe Seite des magnetischen Meridians bleibt. Ist das Gewinde unter dem magnetischen Aequator, so kehrt sich die Richtung der Declination um, allein dann ändert sie sich nicht, so lange das Gewinde östlich oder westlich von der Nadel und der Ebene ihrer mittleren Declination bleibt.

2981. Führt man das Gewinde in einer auf den Ebenen des magnetischen Aequators und des Meridians winkelrechten Ebene um die Nadel herum, so daſs es successive die vier Quadranten durchwandert, so macht die Nadel während dieses Umgangs *zwei* Schwingungen hin und her (statt einer). Steht dabei das Gewinde anfangs in der neutralen Lage über der Nadel, geht durch Westen nach unten, und an der Ostseite wieder herauf zu seiner ursprünglichen Lage, so wird das Nordende der Nadel erst westwärts gehen, dann ostwärts, nun westwärts, darauf ostwärts und endlich wieder westwärts zu seiner ursprünglichen oder neutralen Lage.

2982. So wie das Gewinde aus den neutralen Ebenen (2978) in einen der Quadranten geführt wird, wächst sein Einfluſs auf die Ablenkung der Nadel und erreicht in der Mitte des Quadranten sein Maximum. Folglich ist die Ablenkung nach Osten oder Westen ein Maximum, wenn das Gewinde sich in der Mitte eines der Quadranten befindet. Wenn also das Gewinde aus der Mitte eines Quadranten in die Mitte des nächsten geführt wird, macht die Nadel nur *eine* Bewegung, z. B. eine verstärkte westliche Abweichung, obwohl die Richtung der Declination in Bezug auf die mittlere Lage während der Zeit umgekehrt worden ist, und es giebt einen Moment, wo die Nadel keine Extra-Declination besitzt, sondern *in* der mittleren Lage ist. So auch wenn das Gewinde von einer neutralen Ebene zur andern durch einen Quadranten geführt wird, ändert zwar die dadurch bewirkte Ablenkung der Nadel ihre Richtung

Digitized by Google

nicht, bleibt z. B. während der ganzen Zeit westlich, allein dennoch hat die Nadel zwei Bewegungen ausgeführt, indem sie erstlich während des Anwuchses der Kraft westlich, und darauf, während der Abnahme derselben östlich geht; und dadurch kommt es, dafs, obwohl die Nadel, während das Gewinde sie in einer östlichen oder westlichen Verticalebene umkreist (2981), *vier* Ausgänge (*departure*) von der neutralen oder mittleren Lage aus und dahin zuzurück besitzt, es doch nur *zwei* vollständige Wanderungen (*journeys*) für sie giebt.

2983. Die Gröfse der Ablenkung verringert sich, so wie die Entfernung des Gewindes von der Nadel zunimmt, und so umgekehrt.

2984. Zwei andere Nadeln wurden sehr schief gegen die magnetische Axe aufgehängt (*slung*) (2975), mit dem Nordende die eine aufwärts, die andere unterwärts, und nun, wie die frühere, der Wirkung des Gewindes ausgesetzt (2978). Sie wurden genau in derselben Weise afficirt, zeigten keinen Unterschied, d. h. ein gegebenes Ende bewegte sich, bei derselben Aenderung in der Lage des Gewindes, immer in derselben Weise. War das Gewinde nahe, so wurde, in gewissen Lagen, der eine Pol etwas mehr influencirt als der andere; allein eine gröfsere Entfernung desselben nahm diesen (leicht (2970) erklärlichen) Unterschied fort und lieferte reine Resultate. Ob das Gewinde sich über oder unter der Verlängerung der Linie der Nadel befand, machte keinen Unterschied, sobald es nur in Bezug auf den magnetischen Aequator der durch die Nadel gehenden Erdkraftlinien an demselben Orte war.

2985. Um die Natur der Wirkung, welche ein solches Gewinde immer in der gegebenen oder diamagnetischen Lage (2975) auf die *Inclination* ausübt, zu ermitteln, wurde eine kleine Neigungsnadel derselben ausgesetzt, und dabei wurden folgende Resultate erhalten. Die Nadel konnte sich in dem magnetischen Meridian von London bewegen.

2986. Es erfolgte keine Ablenkung, wenn das Gewinde in der Ebene des magnetischen Aequators oder in einer,

Digitized by Google

welche auf der die mechanische Axe enthaltenden Ebene winkelrecht war, sich befand. In jeder anderen Lage wirkte es auf sie, so dafs diese beiden Ebenen die Wirkungssphäre in vier Segmente theilten, wie zuvor.

2987. So wie das Gewinde von einem Quadranten in den anderen übergeht, ändert sich, wie zuvor, die Richtung, in welcher die Nadel abgelenkt wird (2982). Ist das Gewinde in dem oberen Nordsegment oder in dem unteren Südsegment, so wird das obere oder südliche Ende der Nadel gegen Süden abgelenkt. Ist aber das Gewinde in dem oberen Süd-, oder unteren Nordsegment, so wird das obere oder südliche Ende der Nadel nach Norden abgelenkt. Wird das Gewinde um die Nadel herumgeführt, in Richtung der Bewegungsebene, welche in diesem Fall die des magnetischen Meridians ist, so weicht die Nadel von einer mittleren oder unafficirten Lage erst in einer Richtung ab, z. B. nordwärts und dann südwärts, wieder nordwärts und südwärts, und endlich abermals nordwärts um ihren Ruheplatz wieder zu erlangen, so dafs es, wie zuvor bei der Declinationsnadel (2982), in jeder Richtung zwei extreme Ablenkungen des Endes giebt.

2988. Mit anderen Worten: Wenn das Gewinde irgendwo unter dem magnetischen Aequator war, suchte das *untere* oder nördliche Ende der Nadel auswärts oder nach aufsen von demselben zu gehen, wie wenn es von der Axe des Gewindes *abgestofsen*, aber von den äufsern gekrümmten Kraftlinien (2992) Fig. 32 Taf. I. angezogen würde. Oder wenn das Gewinde über dem Aequator war, ging das *obere* oder südliche Ende der Nadel auswärts von dem Gewinde, und bewegte sich in Bezug auf dasselbe, genau in derselben Weise wie früher der untere Pol.

2989. Der Träger der Nadel wurde um 90° gedreht, dadurch also die Ebene, in welcher sich die Nadel bewegen konnte, um 90° aus dem magnetischen Meridian. Diefs drehte auch die Ebene ohne Einwirkung um 90°, so dafs sie nun mit dem magnetischen Meridian zusammenfiel; und die von Ost nach West gehende Ebene, welche sich früher

Digitized by Google

neutral verhielt, war nun nicht eine Ebene ohne Wirkung, sondern ging durch die Orte der stärksten Wirkung in der Mitte der Segmente.

2990. Hier bei der *Inclination*, wie zuvor bei der *Declination*, ist es nicht die gerade von der Nadel eingenommene Richtung, was die Einwirkung des Gewindes auf dieselbe bestimmt, denn sie mag belastet oder anderswie zurückgehalten werden, gleich allen horizontalen Nadeln, sondern es ist die Richtung der Kraftlinien der Nadel, welche, mit dem Gewinde, alles beherrschen. Es ist gleichgültig, ob das Gewinde oben oder unten in der Verlängerung der Nadel ist; denn wenn es an derselben Seite der Kraftlinie bleibt, unter deren Einfluſs die Nadel wirkt, bewegt sich das Ende dieser in derselben Richtung, obwohl es in dem einen Falle zu dem Gewinde geht und in dem andern von ihr ab.

2991. Ich hing eine Nadel so auf, daſs sie in jeder Richtung frei beweglich war, und nun erhielt ich den einfachen natürlichen Effect des Gewindes oder einer diamagnetischen Kugel (2877) auf eine gegebene Kraftlinie, und es ist gut dieſs im Gedächtniſs zu haben. Denn obwohl wir zum Behufe der practischen Beobachtung genöthigt sind, die Lage in zwei Theile zu theilen, in Declination und Inclination, so lassen sich doch die Resultate für jeden Fall besser vergleichen und einprägen, wenn man das einfache Gesetz der Veränderung in der ganzen Kraftlinie im Kopfe hat. Die Aequatorial-Ebene und die Magnetaxe sind nun die einzigen Orte, in welchen das Gewinde sich befinden kann, ohne auf die Lage der Nadel einzuwirken; die erstere giebt (für das Gewinde) Orte mit einer stabilen Lage für die Nadel, und die letztere liefert stabile oder instabile Lagen, je nach dem Abstande des Gewindes.

2992. Ist das Gewinde aufserhalb der Ebene und Axe, so geht das ihr nächste Ende der Nadel von ihr, wie wenn es abgestoſsen würde. Wird das Gewinde in einem Breitenkreise herumgeführt, so bewegt sich das Ende

Digitized by Google

der Nadel vor ihm herum, gerade wie das obere Ende der Nadeln zu Hobarton und Toronto in Bezug auf die Sonne während der Mittagsstunden. Statt das Gewinde um die Nadel herumzuführen, können wir die Nadel in verschiedene Lagen gegen das Gewinde bringen, und dann wird Fig. 32 Taf. I, das Resultat vorstellen. Ein äufserst einfaches Resultat, ganz übereinstimmend mit der diamagnetischen Anordnung der von dem Gewinde erzeugten Kräfte (2972), wie die beiden getüpfelten Linien andeuten.

2993. Als Ausdruck der Thatsachen, um diese zur Erläuterung der Naturphänomene anzuwenden, kann man in Bezug auf *Declination* sagen, dafs wenn das Gewinde sich in einer geneigten Ebene über der Nadel, und deshalb über ihrem magnetischen Aequator befindet, es östlich, von einer Nadel mit nördlicher Neigung, das südliche oder obere Ende derselben nach Westen ablenke, und, östlich von einer Nadel mit südlicher Neigung (also von umgekehrter Stellung (2972)), das nördliche oder obere Ende ebenso nach Westen treibe, so dafs es das nächste Ende der freien Nadel oder den nächsten Theil der Kraftlinie abzustofsen scheint (Fig. 32 Taf. I.). In Bezug auf *Inclination* kann man sagen, dafs das Gewinde, wenn es über der Nadel ist, das obere Ende derselben oder die Kraftlinien von sich treibe. Ist das Gewinde nördlich von der Magnetaxe, so sucht es das obere Ende der Nadel nach Süden, ist es südlich nach Norden abzulenken. Wie bei der Declination ist es gleichsam, wie wenn es das nächste Ende der freien Nadel oder die nächste Kraftlinie abstiefse. In der That kommen alle Fälle darauf hinaus, dafs wenn das Gewinde diamagnetisch (2975) für eine freie Nadel ajustirt ist, es mag sich nun über oder unter, diefs- oder jenseits derselben befinden, das nächste Ende der Nadel gleichsam abgestofsen wird, vorausgesetzt, dafs das Gewinde nicht in einer neutralen Lage sey.

2994. Ich wiederholte alle diese Versuche mit dem umgekehrten Gewinde, um so den Effect einer paramagnetischen Luftkugel (2865. 2973) hervorzubringen. Ich

Digitized by Google

brauche wohl nicht zu sagen, dafs alle Erscheinungen in ihrer Natur und Ordnung dieselben, nur in der Richtung die *umgekehrten* waren. Sie sind erforderlich, um die von der Erkaltung der Atmosphäre herrührenden (3003. 3010) nächtlichen oder frühmorgentlichen Wirkungen zu erklären.

2995. Bei diesen Versuchen wurde, damit die Ablenkungsgesetze in ihrer Einfachheit erscheinen möchten, die Nadel in der Luft aufgehängt, und die Sonnenwirkung rundherum in allen Richtungen dargestellt. Allein in der Natur befindet sich die Luft blofs über der Nadel und die Erde als ein Magnet unter ihr. Im Fall der Natur ist es auch die Befestigung der Linien in der Erde (2919), welche bewirkt, dafs der Betrag der Ablenkung *an* der Erdoberfläche weit gröfser ist, als er seyn würde, wenn sie sich in der Erde so frei bewegten als darüber im Raum [1]). Diese Ablenkung mufs mit der von dem Gewinde allein bewirkten zusammenfallen, aber es war doch wichtig dieses zu bestätigen. Ich nahm daher einen Magnetstab von 30 Zoll Länge und geringer Stärke, und hing darüber die Nadel an verschiedenen Stellen auf, um so den Effect von nördlicher oder südlicher Neigung in jedem Grade, oder, nahe den mittleren Theilen, gar keine Neigung zu haben. Der Effect der Abwesenheit von Luft unterhalb wurde auch bis zu einem gewissen Grade nachgeahmt, und um diefs noch auffallender zu machen, brachte ich zuweilen Eisenmassen an und unter die Mitte des Magnets. Die Wirkungen des Gewindes waren nun, was den *Betrag* der Ablenkung betrifft, bedeutend verändert, aber nicht in der Richtung. Wenn das Gewinde auf die Richtung der Nadel einwirkte, so geschah es gemäfs den obigen Gesetzen.

2996. Bei der Betrachtung der Naturphänomene sind

1) Bezogen auf die zum Typus genommene Kugel von kalter Luft (2874) ist klar, dafs wenn der Raum unter den horizontalen Linien *a*, *c*, etc. von einer die Linie festhaltenden Materie eingenommen wäre, dann die nun an den unteren Theilen vorgestellten Ablenkungen über den festhaltenden Flächen erscheinen würden, und in einem viel gröfseren Grade, obgleich sie sich in einen viel kleineren Raum hinab ausdehnen würden.

Digitized by Google

die Magnetaxe und die Ebenen des magnetischen Aequators und des Meridians, als Kreise oder Ebenen ohne Ablenkung, sehr wichtig. Sich ändernd bei jeder Veränderung entweder des Orts, oder der Declination oder Inclination, erfordern sie ein leichtes Mittel der Erläuterung, und ihre Wirkungen können schwerlich ohne ein Modell begriffen werden. Ich habe mir einen Globus gemacht, darauf die Lage der Observatorien angemerkt und die magnetischen Meridiane dieser Orte nach der neusten Bestimmung verzeichnet. Mit anderer Farbe habe ich dann für jeden Ort seinen magnetischen Aequator angegeben und zwar als gröfsten Kreis, parallel der Aequatorialebene der Neigungsnadel dieses Orts. Auch habe ich auf diesem Globus den mittleren Gang der Sonne für jeden Monat und, mittelst Nadeln, die Stunden Vor- und Nachmittags für jeden Ort angezeichnet, so dafs ich mit hinreichender Genauigkeit und besser als durch irgend eine Figur angeben kann, wann die Sonne in irgend einem bestimmten Quadranten oder in welchem Theile desselben ist, wann sie eine neutrale Linie passirt, oder welche Lage sie in Bezug auf den Beobachtungsort besitzt. Ich stellte diesen Globus, den ich sehr nützlich gefunden habe, immer in einer bestimmten Lage gegen mich auf, nämlich die Rotationsaxe horizontal, den Nordpol zu meiner Rechten, und den astronomischen Meridian des Orts gegen das Zenit. Der Beobachter kann ihn dann als vom Orte des Aufgangs der Sonne her betrachten.

2997. Obgleich wir so die experimentellen Bedingungen haben, unter welchen sich die Nadel unter einer Wirkung gleich der aus dem Daseyn der Sonne entspringenden (2990) befindet, so behaupte ich doch nicht, dafs sie ohne Modification auf die Naturphänomene angewandt werden können, sondern nur, dafs sie beim Studium der letzteren und deren Ursache eine sehr wichtige Hülfe gewähren. Die Atmosphäre ist nicht unbegränzt, sondern hüllt die Erde gleich einem Gewande ein; ihre Wirkung mufs, so wie sie sich vom Orte ihrer Entstehung ausdehnt, in Bezug

Digitized by Google

auf denjenigen Theil, welchen sie durch ihre Masse leitet, (2920) krümmen mit ihrer Krümmung, und an jedem besonderen Orte ein Resultat geben, welches sich nur durch feine, auf sorgfältige Beobachtungen gestützte Berechnungen bestimmen läfst. In Bezug auf die Entwicklung der Luftwirkung würde es, glaube ich, sehr interessant seyn zu ermitteln, wenn auch nur roh, wie sich die täglichen Variationen des Erdmagnetismus am Boden eines tiefen Schachtes, in der Mitte und an der Mündung desselben verhalten. Die Resultate würden uns über die Haltkraft (*holding power*) der Erde und die Tiefe, bis zu welcher die Ablenkungen der Magnetkraftlinien eindringen, sehr viel lehren, so wie auch von den Veränderungen (oder Nicht-Veränderungen) der inneren Kraft, befreit von denen von der Atmosphäre herrührenden, eine rohe Vorstellung geben.

2998. Ein anderer Grund, weshalb das experimentelle Resultat nicht zu strenge angewandt werden darf, ist folgender. Wären die Kraftlinien der Erde vollkommen regelmäfsig, so würden die in ihnen von der Sonne und der Luft hervorgebrachten Aenderungen ebenfalls regelmäfsig seyn. Allein das natürliche System ist nicht regelmäfsig, weder unter den Tropen, wie zu Sister's Walk und Longford in St. Helena, noch in höheren Breiten, wie an der Hudson's Bay, und daraus können und müssen Widersprüche entstehen. Wahrscheinlich ist es, dafs die gröfsten Unregelmäfsigkeiten in der Anordnung des Erdmagnetismus in und bei der der Erdoberfläche vorkommen, und nach oben Alles regelmäfsiger wird. Indefs müssen doch die Unregelmäfsigkeiten ihren Einflufs sehr weit nach oben erstrecken, so dafs die Verdrehungen der magnetischen Meridiane oder Kraftlinien an der Region, welche mit dem Ort des atmosphärischen Effects coïncidirt, wahrscheinlich nicht getilgt oder sehr verringert sind.

2999. Allein wiewohl die Linien in dem grofsen, von der Sonne afficirten Raum unregelmäfsig sind, so wird doch eine Ausdehnung des Ganzen, als eines Systemes

Digitized by Google

und eine diamagnetische Polarität erfolgen. Die unteren Kraftlinien werden von den oberen afficirt werden, und so wird die Art der Veränderung an der Erdoberfläche wahrscheinlich nicht so unsicher seyn als es anfangs scheint, obwohl eine vollkommene Aehnlichkeit zwischen verschiedenen Orten nicht zu erwarten ist. Deshalb glaube ich wird man den Globus (2996) sehr nützlich finden, indem er Auskunft giebt über die wahrscheinlichen Effecte in dem Meridian und Aequator, wie sie durch den Ort der Sonne in den beiden Hauptquadranten für jeden Monat des Jahrs oder jede Stunde des Tages hervorgerufen werden.

3000. Der Durchgang durch den magnetischen Meridian ist wichtig und scheint es mehr nach dem (2978) beschriebenen Versuch zu seyn, als er es früher (2942) that. Da er oft gegen den astronomischen Meridian geneigt ist, so mufs er grofsen Einflufs haben auf die Zeit, wann die tägliche Declination ihre Richtung ändert. Der Ort der gröfsten Wirkung und sein Wandern nördlich oder südlich längs einer magnetischen Kraftlinie, je nachdem die Declination in Bezug auf das Gewinde als Sonne, westlich oder östlich war, wurde durch einen Versuch bestätigt; und ebenso auch die spätere Beobachtung (eine Folge der früheren), dafs bei gleichem Abstand der Sonne von einem mehr nördlichen oder südlichen Ort als sie selbst, die Wirkung derselben an der Seite ihrer Bahn weit stärker ist und die Declinatin eines spitzen Winkels macht. Wenn demnach das, von Ost nach West bewegte Gewinde, durch den Meridian eines nördlich von ihm liegenden Orts mit westlicher Declination geführt wurde, war die Wirkung, bei gleichen Abständen des Gewindes vom Magnet, stärker an der westlichen Seite des Orts als an der östlichen.

3001. Der Durchgang der Sonne durch den magnetischen Aequator ist ebenfalls wichtig, weil dann die Richtung der täglichen Variation der Experimentir-Nadel geändert wird; und diefs ist von desto gröfserer Folge, weil durch die Gröfse der natürlichen Declination an vielen,

Digitized by Google

selbst sehr nördlichen oder südlichen, Orten dieser Durchgang, entweder an der östlichen oder westlichen Seite, auf den astronomischen Meridian hin gerichtet ist und während der einflufsreicheren Stunden der Sonne oder der Kälte stattfindet. An all den Orten überdiefs, wo die Neigung klein ist, wie zu St. Helena, und in oder nahebei der Sonnenbahn, kann er einen wesentlichen Einflufs auf den Betrag der Wirkung ausüben. Wegen der Aenderung des Sonnenortes zwischen den Tropen, und wegen der grofsen Verschiedenheit der Inclination und Declination an verschiedenen Orten, mufs das Durchschneiden der neutralen Ebenen von der Sonne und der wirkenden Region unter einer aufserordentlichen Mannigfaltigkeit von Bedingungen stattfinden, deren Aufklärung, glaube ich, durch Kenntnisse, wie die, welche die vorhergehenden Versuche und Principien liefern, sehr unterstützt wird. Die Sonne kann astronomisch nördlich oder südlich von der Nadel seyn, und doch ändert sich die Declination der letztern nicht (2980), oder wo eine starke Declination ist, wie zu Greenwich, kann sie astronomisch östlich oder westlich von ihr seyn, und dennoch bringt sie keine Aenderung in der Declination hervor. Die Sonne kann südlich von einem Orte seyn, und dennoch treibt sie das obere Ende weiter nach Süden (2990); denn alles hängt ab von ihrer Lage gegen den magnetischen Meridian und die Magnetaxe, welche im Allgemeinen sehr weit von der astronomischen entfernt sind, zu welcher Mannigfaltigkeit von Ursachen noch kommt, dafs die Kraftlinien in der Erde fest sind (2919), was diesen eine fernere Verschiedenheit giebt.

3002. In einem früheren Aufsatz betrachtete ich blofs den Effect der Luft, die über ihre mittlere Temperatur erwärmt worden (2895), und erläuterte diefs durch den der Sonne in der Mitte des Tages; jetzt will ich den Effect der nächtlichen Kälte betrachten, welche die Luft einer Gegend unter ihre mittlere Temperatur herabbringt. Durch die Abkühlung erhöht sich das Leitungsvermögen der Luft, und im Verein mit der wärmeren Luft der Umgebung lenkt sie

Digitized by Google

sie die durch beide gehenden Magnetkraftlinien ab, wie es von der Typus-Kugel (2864. 2874) angezeigt wird; sie erlangt das, was ich Leitungs- oder paramagnetische Polarität genannt habe, damit blofs meinend, dafs die Kraftlinien in der Mitte der kalten-Luft zusammengezogen sind.

3003. Da der Effect der kalten Luftregion aus Osten kommt, würde er theoretisch darin bestehen, dafs er die Magnetkraftlinien, so wie sie die Erde verlassen, vorrückte oder gegen sich böge, weil die in der kalten Luft und um dieselbe einwärts gebeugt sind; und so wie die im unmittelbaren Westen der kalten Region sich einwärts oder gegen sie bewegen, so werden die weiter westlichen, da sie zum Theil in ihrer Spannung nachlassen, sich auch ostwärts bewegen, und so wird ein Effect entstehen, umgekehrt wie der von der Sonne (2877. 2972), oder gleich mit dem des Gewindes in der paramagnetischen Lage (2973. 2994). Die oberen Enden der Nadeln an Orten mit Inclination zeigen diese Ablenkung des oberen Theils der Kraftlinien, weil sie von, mit und in ihnen bewegt werden.

3004. So wie die Kälte sich nähert, neigen die Linien gegen sie, bis sie in die Lage der Maximum-Wirkung im östlichen Quadranten angelangt ist; dann kehren sie zurück (in Declination) der Kälte voraus, bis beide, die Kälte und die Linie (oder Nadel) im magnetischen Meridian sind; worauf, so wie die Kälte nach Westen wandert, die Nadel ihr folgt, bis die Kälte den Ort ihrer Maximum-Wirkung im westlichen Quadranten erreicht hat (2982); endlich, wenn die Kälte umkehrt, geht auch die Nadel wieder nach Osten in ihre mittlere Lage, angenommen übrigens, dafs zur Zeit keine andere Wirkung als die der kalten Region vorhanden sey. Das obere Ende der freien Nadel strebt also an jedem Orte zur kalten Region hin, wie zuvor von einer wärmeren Region abwärts, und wie die Declination ergriffen wird, so verhält es sich auch mit der Inclination. Ist die Kälte im magnetischen Meridian eines Orts innerhalb der Tropen, wie St. Helena und Singapore, so vergröfsert sie die Neigung daselbst, während sie zu

Digitized by Google

derselben Zeit an südlichen oder nördlichen Orten, wo die Neigung beträchtlich ist, dieselbe verringert; ein Resultat, welches aus der Beugung der Kraftlinien in oder gegen die kalte Region direct hervorgeht.

3005. Die hauptsächlichsten Regionen von Wärme und Kälte auf einem selben Breitenkreise folgen einander nicht in gleichen Zeiträumen. Es ist schwierig sich über ihre Zwischenzeit in der oberen Atmosphäre ein Urtheil zu bilden; allein an der Erde, wie von Vielen angenommen wird, folgt das tägliche Kältemaximum 17 Stunden auf den vorhergehenden Mittag. Darnach kommt der vereinte Effect der kalten und warmen Region hauptsächlich Vormittags und um Mittag in Betracht. Wenn eine kalte Region nur viertehalb Stunden westlich von einem Orte ist, von dem gleichzeitig die warme Region viertehalb Stunden im Osten liegt, so ist klar, dafs der vereinte Effect beider, da beide in gleichem Sinn ablenkend wirken, weit gröfser ist, als wenn Kälte oder Wärme allein wirkt, oder als zu jeder andern Zeit, denn weder 12 Stunden hernach, noch zu sonst einer Zeit, sind die Umstände ähnlich. So verhält es sich auch mit anderen Combinationen von heifsen und kalten Regionen, deren Effect sowohl nach Lage als nach Ausdehnung verschieden ist. Eine freie Nadel wird in Spannung gehalten durch die Linien, welche selbst wiederum durch die heifsen und kalten Regionen der Atmosphäre beherrscht werden; sie nimmt wahrscheinlich nie die mittlere Lage ein, sondern liegt immer in der Resultante dieser stets gegenwärtigen und stets wachsenden Veränderungsursachen.

3006. Da die Erde unter der Sonne rotirt, so würde, allgemein gesprochen, jeder Ort innerhalb 24 Stunden ein Maximum und ein Minimum in der Temperatur seiner Atmosphäre haben. Allein auf die Erdkugel als Ganzes gesehen, würde es ein Minimum und zwei Maxima geben, d. h. eine Maximum-Region etwas unter der Sonne in ihrer Bahn und ein Minimum in jeder der Polarregionen, welches in Rücksicht auf die 24 Stunden nicht am Pole läge, sondern an einem Orte unter hoher Breite, und vielleicht, wie vorhin, sieben bis acht Stunden vor Mittag. Diese kalten

Digitized by Google

Regionen werden wiederum durch die Stellung der Sonne zwischen den Tropen sehr bedeutend in ihrer Ausdehnung, Lage und Kraft afficirt; denn so wie die Sonne gegen einen Wendekreis vorrückt, wird die kalte Region in Ausdehnung und Kraft abnehmen, während die andere darin wächst; und während sie (die Regionen) somit in ihrem Einfluſs auf die allgemeine Richtung der Kraftlinien schwanken, werden sie, (diese Linien) sich in ihrer Lage auch verändern und zu verschiedenen Zeiten verschiedene Relationen zum Orte der Sonne in verschiedenen Monaten haben, und so mannigfaltige Effecte hervorbringen. Es sind diese Verschiedenheiten, welche sich uns, wie ich glaube, in den nächtlichen und morgentlichen Wirkungen an den zahlreichen, auf der Erde zerstreuten, Observatorien kund geben.

3007. Ich will nun versuchen, diese Ansichten und die durch den Versuch nachträglich gewonnenen Kenntnisse anzuwenden auf die früher betrachteten und einige neue zwischen den Tropen belegene Orte, um, wenn ich es kann, zu erklären: die nächtliche Wirkung, die gröfsere oder geringere Verzögerung der Effecte in Bezug auf die örtliche Zeit, den Unterschied in Richtung der Declinationsveränderung in verschiedenen Monaten, an demselben Ort zur selben Stunde, wie er vom Obersten Sabine nachgewiesen ist, die Abnahme der Neigung an einem Ort und die Zunahme derselben an anderen zu derselben örtlichen Zeit. Dabei wird es nöthig seyn, beständig denjenigen Ort zu berücksichtigen, welcher in Bezug auf die Station als das jeweilige Centrum der kalten oder heifsen Wirkung betrachtet werden kann. Ich werde zu dem Ende das Wort Region gebrauchen, damit aber nicht die ganze Strecke der heifsen oder kalten Luft verstehen, auch nicht das Centrum, sondern den Hauptort der veränderten Portion. Es ist sehr klar, dafs an gewissen Tagen des Märzes oder Septembers, *alle* um 21^h oder 22^h östlich vom Meridian gelegene Luft als warm betrachtet werden kann in Bezug auf die dann im Westen desselben Meridianes befindliche,

Digitized by Google

und dafs eine für alle Orte gleiche Resultante der Wirkung nicht existiren kann.

3008. Wir haben uns zu erinnern, dafs das Oestern und Western (*the eastening and the westening*) des obern Nadelendes, von dem ich immer spreche, auf zweierlei Weise hervorgebracht wird. Die Nadel wandert wie positiv durch die Fortnahme einer directen Wirkungsursache, wie sie es, nur in entgegengesetzter Richtung (2982) unter der unmittelbaren directen Wirkung dieser Ursache thut. Ein Western kann erfolgen entweder dadurch, dafs die Sonne im Osten des Beobachtungsortes aufgeht, oder im Westen fortgeht, nachdem sie durch den Meridian gegangen ist und die gröfste östliche Schwingung erzeugt hat.

3009. *St. Petersburg* hat eine mittlere Declination von 6° 10′ W. und eine Inclination von 70° 30′ N.; obgleich also der magnetische Meridian nicht sehr schief gegen den astronomischen ist, erreicht doch die Sonne oder die Wärmeregion den ersteren 20′ bis 40′ früher als den letzteren, und deshalb tritt die Zeit der grofsen Sonnenschwingung, welche von 20^h bis 1^h geht, früher ein als sie sonst eingetreten seyn würde. Der magnetische Aequator der Nadel (2977) macht einen Winkel von etwa 40° mit dem Erdaequator, und bei solcher Neigung (*being thus tilted*), disponirt er die beiden, bei der täglichen Variation (2979) hauptsächlich wirksamen Quadranten so, dafs zu Petersburg im Sommer die wärmste Region nicht nur der Nadel weit näher ist, sondern auch durch die stärksten Orte geht, wogegen sie im Winter weiter davon und auch in schwächeren Orten liegt. Diefs ist, glaube ich, eine Ursache des grofsen Unterschiedes im Betrage und im Charakter der Declinationsveränderung. Im November, December und Januar geht sie nur von 4′,47 bis 4′,65, während sie im Juni 11′,52 beträgt [1]). Siehe die Curven Taf. V.

1) Das Oestern und Western (*eastening and westening*) einer freien Neigungsnadel wird durch die Bewegungen einer horizontalen Nadel nicht gehörig dargestellt, in sofern als an Orten mit verschiedener Inclination der Winkel in Ebenen, die gegen die Inclination ungleich geneigt sind,

Digitized by Google

3010. Im December und Januar, also im Winter, verschwindet zu St. Petersburg die östliche Sonnenschwingung fast gänzlich. Nach 1^h, wo sie vorbei ist [1]), folgt das obere Nadelende der Sonne bis 9^h, nachdem sie um 5^h durch die mittlere Lage gegangen ist. Dann steht sie still, bewegt sich darauf östlich bis 16^h oder 17^h, steht wieder still, ganz oder beinahe, bis 21^h, und macht nun die Sonnenschwingung, die sie zum östlichen Extreme führt. So sind hier also zwei wichtige Punkte zu erklären: warum die Nadel sich nach 9^h ostwärts bewegt, und warum sie von 13^h bis 20^h nicht westwärts wandert, sondern im Gegentheil nach Osten geht oder stillsteht. Die Erklärung ist, meiner Ansicht nach, folgende: — Petersburg ist ein Ort, wo, wegen seiner Lage, die obere Kälte, welche täglich auf den Untergang der Sonne folgt, eine paramagnetische Action erzeugen würde (2994. 3003). Diese Action beginnt, so wie die Sonne untergeht, im Osten zu erscheinen, und ich schliefse, dafs die kalte Region, welche um 9 bis 11^h nicht unter der Breite der Sonnenbahn, die zu südlich ist, sondern mehr unter der von Petersburg selber von Osten kommt, um 9 bis 11^h, während die Nadel stillsteht, im Stande ist, jede rückständige Tendenz nach Westen aufzuheben, darauf die Kraftlinie, wie das Nadelende, bis 17^h ostwärts zu ziehen, und dort festzuhalten, bis die Sonne beide in der grofsen Schwingung nach Osten sendet. Dafs die Kälte, in Erwägung ihrer wahrscheinlichen Lage, wohl vermag das Nadelende bis 17^h ostwärts zu richten, und die Sonnenregion dasselbe von 17^h bis 20 oder 21^h nicht westwärts sendet, ist, glaube ich, eine sehr natürliche Folge der wahrscheinlichen Lage beider Regionen zwischen diesen

abgelesen wird; unter hohen Breiten wird der Effect dadurch sehr übertrieben. Wiewohl indefs verschiedene Orte nicht ohne Correction mit einander verglichen werden können, so sind doch an einem selben Orte, wie Petersburg, die Variationen vergleichbar und proportional.

1) Die Petersburger Beobachtungen sind 21,5 Minuten nach jedem Stunschlag angestellt; allein ich führe als hinreichend für das Angenommene nur die Stunden ohne die Minuten an.

Digitized by Google

Stunden. Denn stelle die Sonne, deren Ort wir kennen, die warme Region um 17^h vor; sie ist dann im östlichen Quadrant unter dem Horizont, so dafs sie, wenn sie durch und herum die Erde auf die Nadel wirken könnte (2995), dieselbe nach Osten führen, und damit bis 19^h in diesem Quadranten fortfahren würde. Um 19^h, wenn sie eintritt, in den Quadranten, in welchen sie anfängt eine westliche Action auf die Nadel (*on the sun*) auszuüben, hat sie gegen die Nadel zu Petersburg eine solche Lage (wie aus einer auf dem Globus (2996) gezogenen Linie, im Vergleich mit dem magnetischen Meridian und der Neigung zu ersehen) und ist in einem so unwirksamen Theil der Quadranten (2982) und auch so weit weg, dafs sie keine Macht besitzt, die Nadel westwärts zu senden, sondern nur in Verbindung mit der zurückkehrenden kalten Region dort festzuhalten vermag, bis um 21^h die Sonnenschwingung von Westen nach Osten eintritt wie in anderen Fällen. Hierauf folgt die Nadel der Sonne von 1^h an, allmälig langsamer gehend, so wie die Zeit vorrückt, und dann, wie schon beschrieben, in den nächsten 20 Stunden von der kalten Region aufgenommen.

3011. Ich habe angenommen, die Kälte fahre östlich ablenkend fort bis 17^h (*the cold eastening as continued*), was vermuthlich einschliefsen würde, dafs die kalte Region bis zu dieser Stunde östlich von Petersburg sey. Es ist sehr schwer, über Orte und Zeiten von Dingen zu sprechen, die bisjetzt so wenig specificirt (*identified*) sind als die warmen und kalten Regionen in der oberen Atmosphäre; allein was die Temperaturen an der Erde zu Petersburg betrifft, so kann ich sagen, dafs die äufserste Kälte, im Januar, um 19^h oder 20^h eintritt, *fünf* Stunden später als im Sommer. Ich mufs hier auch bemerken, zum Nutzen in den Sommermonaten, dafs das *Wärme-Maximum* drei Stunden lang in *entgegengesetzter Richtung* variirt, so dafs, während im Sommer nur elf Stunden von der höchsten zur niedrigsten Temperatur des Tags verstreichen, im Winter 19 darauf gehen. An einem Tage im Januar ist also die höchste

Digitized by Google

Temperatur nur fünf Stunden hinter der niedrigsten, was im Allgemeinen mit der vorausgesetzten Ursache der Wirkungen auf die Nadel übereinstimmt [1]).

3012. Da ich mich bemühte, aus Petersburg einen allgemeinen Fall der nächtlichen Wirkung zur Erklärung entsprechender Erscheinungen an anderen Orten zu machen, so mufs ich bemerken, dafs die Nachtwirkung einen Theil der Sonnenwirkung einschliefst, die sich mit der der Kälte combinirt. Die Sonnenwirkung ist durch Beobachtung als sehr ausgedehnt bekannt. In Petersburg ist die Sonne, wenn sie auf dem südlichen Wendekreis und im Meridian steht, 80° bis 90° vom Zenith entfernt, und doch sehen wir aus den Beobachtungen und Curven, welch grofsen Einflufs sie ausübt (3009). Wo auch die Sonne seyn möge, so bringt sie doch durch ihre Bewegung Veränderungen hervor, die gleichzeitig auf der ganzen Erde verspürt werden. Um 9 und 10^h ist sie im wirksamen Theil desjenigen Quadranten, welcher die Nadel ostwärts führen würde, wenn die Erde durch Luft ersetzt wäre, und in dem repräsentativen Versuch (2995) sendet das Gewinde sie ostwärts, wenn ein Magnet eingeschaltet ist. Die nächtliche Wirkung mufs daher im Winter am gröfsten seyn, wie sie es ist, weil die Kälte am intensivsten, und weil auch die Wirkung der fernen Sonne damit zusammenfällt. Es ist sehr wahrscheinlich, dafs viele der wunderlichen Verzerrungen der Nachtwirkungen, wie sie in den Curven von Hobarton, Toronto und anderswo erscheinen, von der Weise abhängen, in welcher sich, zu verschiedenen Stunden, die beiden Ursachen (wahrscheinlich mit andern) combiniren.

3013. Obwohl die Declination zwischen 17^h und 21^h

1) Anlangend die Kälte der obern Atmosphäre und das Eintreten ihrer Maximums (wenigstens in gewissen Niveaus) nicht um Mitternacht, sondern Stunden lang hernach: wie oft erblicken wir nicht in unserm Lande nach einer heitern Nacht kurz vor Sonnenaufgang einen Wolkenschleier hoch oben entstehen, der so wie die Sonne erscheint, zerrinnt und fortgeht! In solchen Fällen zeigen die Wolken durch ihre Bildung die Zeit der gröfsten Kälte oben, und durch ihre Auflösung den schnellen Uebergang derselben in Wärme an.

Digitized by Google

wenig oder gar nicht variirt, kein Western auftritt (3010), so würde ich doch um diese Zeit in der Inclination eine hervortretende Wirkung erwarten, und vermuthen, dafs sie zunehme; ich war nicht im Stande eine Tafel über die tägliche Variation der Inclination zu erhalten.

3014. Für den Februar gelten dieselben Bemerkungen; allein da die Sonne nun aus den südlichen Zeichen kommt und Petersburg näher rückt, so wächst ihre Macht und diefs zeigt sich dadurch, dafs das Oestern durch Kälte (*cold eastening*) um 15^h, 16^h und 17^h um mehr als eine halbe Bogenminute geringer ist als zuvor, und dafs es zwischen 17 und 18^h überwältigt wird und ein Rückgang nach Westen erfolgt, ehe die Schwingung nach Osten eintritt. Im März ist der Effect noch auffallender; das paramagnetische Oestern hält ein um 14^h, und das darauffolgende diamagnetische Western erstreckt sich bis 20^h; dann folgt die Schwingung. Im April beginnt das Western durch die warme Region schon um 13^h und dauert bis 20^h, ist dabei sehr stark. Ein Blick auf die Tafel der monatlichen Temperaturen, selbst so wie sie an der Erdoberfläche erhalten werden, ist interessant. So wie die Monate vorrücken, hört das Oestern durch Kälte immer früher auf, im Januar und April respective um 17^h und 13^h. Das Temperatur-Minimum weicht auch zurück, in denselben Monaten von 20^h auf 16^h. Das Temperatur-Maximum dagegen *rückt vor* von den Winter- zu den Sommermonaten, und wird auch gröfser. Der Effect auf die Sonnenschwingung zeigt sich sowohl in der *vorgerückten* Zeit der Veränderung als in dem *vergröfserten* Betrage der Variation.

3015. Im Mai oder Juni ist das Nacht- oder Kälte-Oestern verschwunden oder zeigt sich nur durch ein geringes Stocken (*hesitation*); und von Mitternacht an führt die Herankunft der Sonnenregion das Nadelende westlich. Blicken wir auf den Globus (2996), so haben wir diefs zu erwarten. Die Sonne ist dann auf dem nördlichen Wendekreis, läuft um Petersburg herum und zwar ihm verhältnifsmäfsig nahe; eine freie Neigungsnadel würde in 24 Stunden

Digitized by Google

einen Umlauf in gleicher Richtung wie die Sonnen-Region machen, allein am entgegengesetzten Ende der Linie, welche beide verbände. Wäre die Nadel am astronomischen Pol der Erde und hätte starke Neigung, so würde sie fast einen Kreis mit beinahe gleichförmiger Bewegung beschreiben; da sie aber in Wahrheit in einem Theil des gleichförmigen Tageslaufs der warmen Region dieser viel näher ist als in einem andern, so macht der Radius, welcher sie mit der Region verbindet, einen gröfsern Winkel in einer gegebenen Zeit als wenn sie weiter fort ist, und daraus entspringt die gröfsere Schnelligkeit der Bewegung zwischen 20^h und 1^h und die Sonnen-Schwingung, wie ich sie (*familiarly*) genannt habe, von Westen nach Osten.

3016. Aus den Curven, Taf. V., ist ersichtlich, dafs wir an Petersburg ein schönes Beispiel jener Art von Resultat haben, welches Oberst Sabine in seinem Aufsatz über die Erscheinungen zu St. Helena [1]) so sehr hervorhebt, und auch zu Hobarton, Toronto und anderswo vorkommt, nämlich eine Declinations-Variation in *verschiedenen* Richtungen zu verschiedenen Stunden in verschiedenen Monaten. So geht im vorliegenden Fall die Nadel ostwärts von 13^h bis 20^h im October, November, December, Januar und Februar, während sie zu denselben Stunden westwärts geht im April, Mai, Juni, Juli und August. Die März- und September-Curven halten die Mitte. Allein diese Verschiedenheit ist nun hoffentlich durch die Hypothese erklärt (3010. 3015); und ich glaube, dafs ebenso befriedigende Gründe für St. Helena (3045) und andere Orte (3022. 3039. 3065) gefunden werden.

3017. Der paramagnetische Charakter der östlichen Abweichung durch die Kälte im Winter nach 10 Uhr, würde wahrscheinlich durch Inclinationsbeobachtungen, zu derselben Zeit angestellt, erläutert werden. Denn, wenn die kalte Region zum Süden Pertersburg's geht, wird die Inclination durch die paramagnetische Action abnehmen, aber durch die diamagnetische Resultante wachsen; die Art,

1) *Philosoph. Transact.* 1847. *p.* 51.

Digitized by Google

wie die beiden Richtungs-Elemente d. h. Inclination und Declination, zu irgend einem gegebenen Moment combinirt sind, ist sehr wichtig für die volle Aufklärung des magnetischen-Effects der Atmosphäre. Ich bin nicht im Stande gewesen, diese Data für Petersburg zu geben. Auch die Veränderungen der totalen Kraft würden hier zur Aufhellung dieses Gegenstandes beitragen. In der That ist es nicht gerathen, die Resultate der bezeichneten Ursache durch Inbetrachtnahme von blofs einem Elemente unter dreien erklären zu wollen. Was wir zuletzt kennen müssen, ist die Gesammtheit aller Veränderungen der freien Nadel. Alle sind wichtig und alle müssen zugleich betrachtet werden. Sonst kann die Theorie der Variationen nicht weit gedeihen.

3018. *Greenwich* liefert uns einen schönen Fall von nächtlicher Episode und den verschiedenen Richtungen der magnetischen Variation zu gleichen Stunden in verschiedenen Monaten. In dieser Beziehung gleicht es Petersburg sehr, hat aber aufserdem noch ein grofses Interesse wegen der starken westlichen Declination [1]), wegen des dadurch auf die Orte der wirksamen Quadranten (2979. 3000) hervorgebrachten Effects und wegen der Zeiten der Variationsphänomene. Setzt man es auf dem Globus (2996) an seine Stelle, so sieht man, dafs die Aequatorial-Ebene wahrscheinlich nicht viel mit der Mittags-Action zu thun hat, und dafs die Sonnen- oder Wärme-Region im Sommer fast mitten durch die beiden Hauptquadranten geht, was, mit ihrer Nähe zu der derselben Zeit, die Mittagsschwingung nach Osten sehr grofs machen mufs. Im Winter ist sie in viel schwächeren Theilen des Quadranten gelegen, so dafs die Schwingung weit geringer seyn mufs, und so ist's wirklich. Die gröfste Variation im Sommer beträgt 11',30 und die kleinste im Winter nur 5',88. Im April, Mai, Juni, Juli und August erfolgt die gröfste westliche Declination des südlichen oder oberen Endes der Nadel um $19^h,20'$, und die gröfste östliche um $1^h,20'$. Die letztere Lage bleibt

1) Mittlere Declination 22°.51' W. mittlere Inclination 69° N.

Digitized by Google

sich das ganze Jahr hindurch gleich, allein das westliche Extrem fällt in den übrigen sieben (kalten) Monaten auf $9^h,20'$ und $11^h,20'$ [1]) oder strebt gegen Mitternacht, dann übertrifft es die westliche Abweichung am Morgen. So ist also der Einfluſs der Sonne im Sommer auf die Schwächung des Effects der nächtlichen Kälte (3005) sehr einleuchtend, ebenso wie die Art, wie in den Wintermonaten die Nachtwirkung durch die zunehmende Kälte wächst, bis sie sehr überwiegt (3006), wenn die Sonne am südlichen Wendekreis oder in den schwächeren Theilen der Segmente ist. Die vorausgesetzten Principien dieser Wirkung sind schon bei Petersburg (3010 etc.) gegeben.

3019. Der magnetische Meridian ist sehr östlich vom astronomischen, da wo die Wärme-Region ihn durchschneidet, besonders im Winter, denn dann geht die Sonne um etwa 10^h und im Sommer um 11^h durch ihn. Es muſs also die Schwingung im Winter früher erfolgen als im Sommer, obwohl sie, wegen der langsamen Bewegung der Wärme-Region in Bezug auf Greenwich (3015), dann eine längere Zeit einnimmt, und doch, wie schon gesagt, (3018), vermöge des Abstandes, von kleinerem Betrage ist. Alles dieſs steht in merkwürdigem Einklange mit der Thatsache. Die Schwingung beginnt im Winter um 17^h, im Sommer aber nicht vor 19^h, und endet in beiden Jahreszeiten zu derselben Stunde, nämlich um 1 Uhr, ist also im Winter von längerer Dauer als im Sommer. Sie beginnt eher, weil der magnetische Meridian früher durchschnitten wird, und es erhellt auch, weshalb der Anfang der Schwingung mehr verschoben wird als das Ende; denn wegen der Declination, ist die Wärme-Region zu denselben Stunden im Winter des Morgens viel weniger östlich vom magnetischen Meridian und des Nachmittags viel weiter westlich von demselben, als im Sommer. Also ist die Schwingung im Winter in Zeit vorgeschoben, und obwohl

1) Siehe die Curven Taf. V. Die Beobachtungen sind nur zu jeder zweiten Stunde gemacht und daher ist in Angabe der Zeit einer Veränderung keine Genauigkeit zu erwarten.

Digitized by Google

verlängert, fällt ihr Ende doch zusammen mit dem Ende im Sommer, so weit dieſs wenigstens aus 2stündlichen Beobachtungen zu ersehen ist.

3020. Da der Sonne die Region vorausgeht, so muſs der Grad der mittleren Declination, um die Tagesschwingung zu machen, hier früh eintreten, d. h. früher als zu Hobarton, und besonders früher als zu Toronto, wenn nicht andere Veränderungsursachen stören. Nun ist der Anfang früher als zu Toronto, allein das Ende dasselbe. Allein Anfang und Ende erfolgen eine Stunde früher als zu Hobarton. Der letztere Unterschied rührt, glaube ich, vom Unterschiede der mittleren Declination her. Zu Toronto, glaube ich, werden wir eine andere, die Zeit influencirende Ursache finden (3032).

3021. Wir haben uns zu erinnern, daſs auch im Winter die Sonne oder Wärme-Region den magnetischen Meridian zwei Stunden eher durchschneidet als den astronomischen, und deshalb hört ihre Wirkung, dem südlichen oder obern Ende der Nadel eine westliche Lage zu geben, viel früher auf als im Sommer, vielleicht selbst ehe sie näher herankommt; und ebenso muſs auch die östliche Nachwirkung gröſser seyn, was sie auch ist. Diese Wirkung ostwärts muſs auch verstärkt werden, weil die Wirkung der warmen Region auf die Nadel nach dem Durchgang durch den magnetischen Meridian verhältnifsmäſsig groſs seyn muſs; denn ihre Bahn bildet mit dem Meridian vor dem Durchgang einen stumpfen Winkel, und nach demselben einen scharfen (3000) und daher ist sie wirksamer. Zu all diesen Wirkungsursachen kommt noch der Effect wegen der Zeit der Kälte in dem fernen Westen (3005).

3022. Der Richtungs-Unterschied vor 19^h (3016) ist zu Greenwich sehr hervortretend, wie man aus den Monatscurven Taf. V. ersieht. Das südliche oder obere Ende geht in den Monaten Mai, Juni, Juli und August westlich von 12^h bis 19^h d. h. von Mitternacht bis fünf Uhr vor Mittag; allein im October, November und December geht es zu denselben Stunden östlich. Betrachten wir zunächst

Digitized by Google

einen Sommermonat, z. B. Juni: Das obere Nadelende ist bei Herankunft der Sonne westlich (wie es seyn mufs) bis 19^h, wenn diese fast in der Mitte ihrer Bahn durch den östlichen Quadranten ist; und was den Abstand und die angulare Relation zum magnetischen Meridian betrifft, so ist dann die warme Region wahrscheinlich an dem Orte, wo sie die gröfste Ablenkung des Nadelendes nach Westen zu bewirken vermag [1]). In den nächsten sechs Stunden geht die Nadel zum äufsersten Osten, macht, den Beobachtungen zufolge, ein Viertel der ganzen Schwingung in den ersten zwei Stunden, eine Hälfte in den nächsten zwei und ein Viertel in den übrigen zwei, ohne Zweifel also den Gang erst mit rasch steigender und dann rasch abnehmender Schnelligkeit. Bei diesem Durchgang der Region ist die Sonne während etwa zwei Drittel der Zeit im östlichen Quadranten, und während eines Drittels im westlichen; und ihre Bahn in dem letzteren bildet mit Greenwich fast die Basis eines gleichschenklichen Dreiecks, welches den magnetischen Meridian zu einer Seite hat, so dafs sie während der ganzen Zeit nahe ist und deshalb eine starke Wirkung auf die Nadel ausübt (3000). Um 1^h ist die Sonne, bezüglich dieses Winkels, in solcher Lage, dafs wenn wir annehmen, die Region gehe ihr etwas voraus, die letztere an dem Orte seyn würde, wo sie die gröfste Wirkung nach Osten ausüben könnte, und deshalb würde hernach so wie sie westwärts zurückgeht, die Nadel umkehren von Ost nach West, wie wirklich, und ihr folgen. Die Nadel fährt fort westwärts zu gehen und durchschneidet ihren *mittleren* Ort für den Monat um 7^h; mittlerweile, ehe diefs geschieht, ein wenig nach 6^h, hat die Sonne das westliche Segment verlassen und den magnetischen Meridian durchschnitten; sie ist zu Greenwich noch nicht untergegangen

1) Es darf nicht vergessen werden, dafs die Rückkehr von einem östlichen oder westlichen Extrem erfolgt, nicht wenn die Sonne oder Wärme-Region durch eine neutrale Linie oder von einem Quadraten in den anderen geht, sondern dann, wenn sie den Punkt ihrer gröfsten Wirkung in einem Quadranten durchschneidet.

Digitized by Google

und, wenn sie eine Wirkung hat, wird sie, wegen des Segments, worin sie nun ist (2979), das Nadelende westwärts führen. In der That fährt die Nadel fort westwärts zu gehen, nach 10 Uhr zwar langsamer, dann von 10^h bis 20^h etwas schneller, darauf, so wie die Sonne aufgeht, noch schneller, wie sie es mufs, bis 19^h, und endlich macht sie ihre grofse Schwingung nach Osten wie zuvor. Die ganze Progression ist hier sehr einfach und anscheinend ein natürliches Resultat der angenommenen Ursache. Ohne Zweifel stellen sich auch Kältewirkungen ein; allein die kalte Region hat an Intensität und Ausdehnung verloren (3006), sich nach Norden zurückgezogen, und ihre Wirkung scheint, in Combination mit der vorhergehenden, blofs in Abänderungen der Geschwindigkeiten des Wechsels zu bestehen.

3023. Für den Winter wollen wir den Januar betrachten, und da in allen Monaten das Oestern um 1^h, nach dem Durchgang der Sonne durch den Meridian, ein Maximum ist, wollen wir hier den Cyclus beginnen. Um 1^h ist das obere Nadelende im östlichen Extrem, und der Betrag der Variation nicht halb so grofs wie im Sommer, weil die Sonne weit absteht. Die Sonne und die Wärme-Region durchschneiden den magnetischen Meridian um etwa 21^h oder 22^h, und müssen daher, in den Stunden vor- und nachher, den vollen Effect von West nach Ost ausüben. Um 1 Uhr kehrt die Nadel nach Westen um, der zurückkehrenden Sonne folgend, und zwar schneller von 7^h bis 8^h oder 9^h, während welcher Zeit die warme Region und auch die Region der frühen Morgenkälte in Quadranten und Lagen sind, welche, wenn sie überhaupt eine Wirkung haben, wie die in den Versuchen (2975. 2995), das Nadelende westlich von seiner mittleren Stellung halten würden. Dann tritt eine Wirkung folgender Art ein: Die Nadel bleibt stillstehen bis 11^h, dann geht sie um Mitternacht, und bis 15^h östlich, steht zwei Stunden lang wieder still, ganz oder beinahe, wendet sich nun abermals gen Osten, anfangs langsam, später rascher, bis 1^h, wo sie ihr östliches Extrem und den Ort ihres Ausgangs erreicht hat.

Digitized by Google

3024. Diese nächtliche Wirkung ist ein anderer Fall der Wirkung einer kalten Region wie die bei Petersburg betrachtete (3010). Es scheint mir, dafs um 11^h die unmittelbare Sonnenwirkung und die ihr folgende Rückkehr nach Westen vorüber sind, dafs die kalte Region, welche von Osten gekommen war, durch ihren Paramagnetismus wirkt (combinirt mit dem complementaren Effect der Sonnenwirkung an der anderen Seite der Erdkugel) und die Nadel ostwärts ablenkt, wie sie bis 14^h oder 15^h zu thun vermag (2994. 3010). Bei diesem Oestern erreicht die Nadel nicht den mittleren Ort, sondern steht 1′ westlich von ihr still; und der Grund, warum sie dort von 15^h bis 17^h bleibt und dann, immer mehr unter der Sonnenwirkung, wieder nach Osten zu gehen beginnt, ist wahrscheinlich der, dafs, sowie die Sonne in dem südlichen Wendekreis steigt, ihre Entfernung und Lage die resultirende ferne warme Region allmälig in Wirkung bringt mit der der näheren kalten; dafs sie erst die Wirkung der letztern hemmt, und dann, so wie sie vorrückt, sich mit ihr combinirt und sie endlich ersetzt, wodurch sie die gewöhnliche, erst langsame und dann rasche Schwingung von West nach Ost um 1^h veranlafst. Wie dieses geschieht, sieht man, in Bezug auf den Ort der Sonne sowohl in der südlichen Halbkugel, als in den zwei magnetischen Segmenten, durch einen Blick auf den Globus (2996) und auf die Curven Taf. V.

3025. Betrachten wir noch einen anderen und intermediären Monat z. B. den März. Um 1^h ist das obere der Nadelenden in seinem östlichen Extrem; dann, bis 9^h folgt es der Sonne wie zuvor (3023): von 9^h bis 11^h steht es still; dann tritt die paramagnetische Wirkung der Kälte von Osten ein und es bewegt sich nun ostwärts bis 13^h. Darauf steht es still, zwei Stunden früher als zuvor, denn nun erscheint die Sonne früh um 6^h und in einer günstigeren Lage für den Effect, in Bezug sowohl auf den magnetischen Meridian als auf das Segment, worin sie zu der Zeit ihren Ort hat, und so wird die Nadel wirklich

Digitized by Google

ein Paar Stunden nach Westen abgelenkt, dann wird sie bis 19^h festgehalten, worauf die grofse Sonnenschwingung erfolgt. Das Festhalten in Westen zwischen 15^h und 19^h ohne dafs ein weiterer Gang nach Westen erfolgt, ist nicht unverträglich mit dem südlichen Ort der warmen Region, und wahrscheinlich nimmt um diese Zeit die *Neigung* zu, ein Effect, der mit dem gleichzeitigen Zustand der Dinge harmonisch übereinstimmen würde.

3026. Andere Momente liegen hinsichtlich ihrer Wirkungen diefs- und jenseits des Märzes; der entsprechende Monat in der entgegengesetzten Jahreshälfte (der September) ist dem März gleich, ansgenommen in demjenigen Theile des Effects, welcher daraus entspringt, dafs der Monat, welcher einem andern folgt, entweder wärmer oder kälter als er selber ist (3053). Greenwich erläutert also genügend die Anwendung der Hypothese auf den Fall eines Richtungsunterschiedes zur selben Stunde, in verschiedenen Monaten (3016, 3022), so wie auch des Vorkommens der Nachtwirkung und ihres Uebergangs in das sehr hervorstehende Oestern am frühen Morgen.

3027. *Hobarton* und *Toronto*, obwohl in entgegengesetzten Hemisphären gelegen, sind in ihren Erscheinungen so ähnlich, dafs sie zusammen betrachtet werden können. Ein sehr wichtiger Vergleich der Variationen in Declination, Inclination und totaler Kraft an beiden Orten ist schon vom Oberst Sabine gemacht [1]). Bei Untersuchung durch den Globus (2996) ergiebt sich, dafs die Vertheilung der Quadranten fast gleich ist, indem die Sonne von 18^h bis 6^h oder während des Tages in dem östlichen und westlichen Hauptquadranten steht. Im Sommer steht die Sonne in einflufsreicheren Theilen der Quadranten als im Winter, wovon der Effect aus der Verschiedenheit des Betrages der Declinationsvariation zu ersehen ist. Zu Hobarton be-

1) *Hobarton Observations* 1850 *Vol. I. p. LXVIII.* auch *Phil. Transact.* 1847 *p.* 55 und 1850 *pp.* 201 und 215. Siehe auch die Curven Taf. V.

Digitized by Google

beträgt sie im Sommer 12',05 und im Winter nur 3',6; zu Toronto im Sommer 14', im Winter 5',2. Die Nachtwirkung an beiden Orten ist von gleichem Charakter und ist in den vorhergehenden Fällen (3010. 3024) befriedigend nach der Hypothese erklärt worden.

3028. Oberst Sabine hat die Data geliefert, durch welche die Variationen der Inclination und der totalen Kraft mit der Hypothese verglichen und auf sie angewandt werden können. Ich stehe indessen an, in dieser allgemeinen Ansicht auf sie einzugehen, in sofern als diese und die Declinations-Variationen zusammen betrachtet und für jede Stunde an jedem Ort mit einander verglichen werden müssen. Die Inclinations-Variation ist zu Hobarton im Sommer am gröfsten, nämlich 2',18, und im Winter am kleinsten, oder 1',28, wie zu erwarten stand. Die gröfste Variation findet am Tage statt, wie bei Declination. Am gröfsten ist die Inclination, wenn die Sonnenregion durch den Meridian geht; ihr Maximum erreicht sie nicht zu derselben Stunde in allen Monaten, um 23^h im December, Februar und März, um 24^h im September und um 1^h im Juni und Juli; so wie es sich bewegt, bewegen sich auch die Minima der Neigung zu beiden Seiten des Maximums, so dafs die ganze Curve nach Ordnung dieser Monate in Zeit vorrückt. Sie werden auch noch in anderer Weise afficirt, denn in einigen Monaten, wie December und Februar, geschieht der *schnellste* Uebergang von der *gröfsten* zur *kleinsten* Neigung, in anderen Monaten, wie Juni, Juli und September, aber von der *kleinsten* zur *gröfsten*. Zu Toronto hat die Variation der Neigung, obwohl in einigen Punkten eigenthümlich, im Allgemeinen denselben Charakter.

3029. Hinsichtlich der Variation der totalen Kraft an beiden Orten will ich für jetzt nur auf des Obersten Sabine's Werke verweisen.

3030. In der Zeit der täglichen Veränderungen findet, wie schon Oberst Sabine hervorgehoben hat, ein merkwürdiger Unterschied zwischen Hobarton und Toronto statt.

Digitized by Google

Er besteht darin, dafs diese Veränderungen am letzteren Ort eine Stunde früher eintreten als am ersteren. Hinge diefs von der Declination ab, so müfste die Veränderung zu Hobarton zuerst erfolgen, denn dort tritt die Sonne eher in den magnetischen Meridian als in den astronomischen, und am Nachmittage hat sie, zu gleichen Stunden der örtlichen Zeit, eine bessere Lage in dem Quadranten als zu Toronto; und doch erfolgt sie am ersteren Ort zuletzt.

3031. Betrachtet man die *Zeit* der Sonnenschwingung von West nach Ost, so müfste die Mitte derselben einigermafsen dem Moment nahe liegen, da die warme Region den magnetischen Meridian durchschneidet (2982), und in solcher Weise liefert sie einen angenäherten Ausdruck für die relative Lage der Region und der Sonne. Zu *Hobarton* erfolgt die Schwingung von 21^h bis 2^h oder während fünf Stunden, und die Sonne durchschneidet den magnetischen Meridian nahe in der Mitte der Zeit oder um $23^h\,20'$. Allein wegen der oben gemachten Voraussetzung ist diefs auch die Zeit, zu welcher die warme Region ihn ebenfalls durchschneiden mufs; die Sonne und die Region scheinen also an diesem Orte gleichzeitig den Meridian zu erreichen. Zu *Toronto* dauert die Sonnenschwingung im Winter vier Stunden oder von 21^h bis 1^h, und im Sommer fünf Stunden oder von 20^h bis 1^h. Von den letzteren fünf Stunden ist das Mittel $22\frac{1}{2}^h$, zu welcher Zeit die Region den magnetischen Meridian durchscheiden müfste, und da dieser nahe mit dem astronomischen Meridian coïncidirt, so scheint es, dafs die Region etwa anderthalb Stunden der Sonne *voraus* ist. Nach einem ähnlichen Vergleich würde die Region im Winter etwa eine Stunde der Sonne voraus seyn [1]).

3032. Ich bin geneigt, viel von dieser Präcession der

1) Was den Umstand betrifft, dafs die Resultante der Wirkungen, welche das Nadelende nach Westen ablenken, der Sonne voraus liegt, so müssen wir uns erinnern, dafs die vorhergehende Kälte, die vielleicht nur sieben Stunden im Westen ist, durch ihre Wirkung auf das allgemeine Curvensystem das Western der Nadel unterstützt, während die Sonne im Osten und selbst im Meridian ist (3005).

Digitized by Google

warmen Region zu Toronto von der geographischen Vertheilung des Landes und Wassers daselbst abzuleiten. Das atlantische Meer liegt im Osten, der Continent von Amerika im Westen jenes Orts, und, wie Dove's Karten und Resultate andeuten, steigt die Temperatur über dem Lande höher und rascher als über dem Wasser, wodurch die warme Region in Bezug auf die Zeit oder die Sonne vorgerückt wird. Bei Hobarton verhält es sich anders; in der That ist daselbst das Land zwischen dem Ort und der vorrückenden Sonne, und es strebt demnach die warme Luftregion zurückzuhalten und so deren Zeit mit der Zeit der Sonne in Coïncidenz zu bringen. Selbst dafs zu Toronto der Unterschied im Sommer gröfser als im Winter ist, scheint mir in gleicher Weise erklärlich zu seyn, wenn man in beiden Jahreszeiten die relative Lage der Sonne zu der Gestaltung des Landes und Wassers erwägt.

3033. Obwohl die Temperatur an der Erdoberfläche eine sehr unsichere Anzeige von der in der Höhe ist (2937) so stimmt sie doch, so weit die Beobachtungen reichen, mit dieser Ansicht. Das Maximum der Temperatur nach Mittag tritt zu Hobarton früher ein als zu Toronto; am ersteren Ort fällt es sehr regelmäfsig auf 2^h, das Minimum auf 16 bis 19^h, im Sommer früher als im Winter. Zu Toronto liegen die Maxima zwischen 2 und 4^h, und die Minima zwischen 16 und 18^h. Die Maxima treten im Sommer später ein als im Winter; die Minima, wie zu Hobarton, später im Winter als im Sommer. Die mittlere Temperatur ist zu Toronto $44^\circ,48$ niedriger als zu Hobarton, wo sie $53^\circ,48$ ist; auch die Temperaturschwankung ist gröfser, zu Toronto 43° und zu Hobarton nur 18°.

3034. Es ist wahrscheinlich, dafs die Effecte der Verzögerung und Beschleunigung beim Vorübergang des localen Theils der warmen Region für einen gegebenen Ort, an vielen Theilen der Erde vorkommen, und diefs mufs für jede Oertlichkeit und für die verschiedenen Jahreszeiten daselbst ermittelt werden. Ein Ort von entgegengesetzter Lage wie Toronto würde einen umgekehrten oder verzö-

Digitized by Google

gerten Effect haben, und so könnte es geschehen, dafs Nadeln unter derselben Breite zwar zu sehr verschiedener örtlicher Zeit, aber dennoch alle innerhalb je 24 Stunden sehr regelmäfsig afficirt würden. Die Region würde in dieser Zeit ihren täglichen Umlauf machen, aber an verschiedenen Theilen ihrer Bahn mit verschiedener Geschwindigkeit, und zwar in verschiedener Stärke und Ordnung unter verschiedenen Breiten und an verschiedenen Theilen eines und desselben Breitenkreises. Selbst die Zeit, während welcher der Effect (wie z. B. die Sonnenschwingung) andauert, würde wahrscheinlich geändert werden; ein Ort würde den Einflufs länger behalten, ein anderer ihn früher verlieren, analog zweien Zuständen von stabilem und instabilem Gleichgewicht.

3035. *Cap der guten Hoffnung* [1]). — Diese Station liegt unter 18°,33′ östl. Länge und 33°,56′ südl. Breite. Die mittlere Declination ist 29° West und die Inclination 53° 15′ Süd. Der Betrag der Neigung, combinirt mit der Lage des Orts, giebt einen magnetischen Aequator, welcher nahe durch die astronomischen Pole geht, und so schneidet ihn die Sonnenbahn in jedem Theil des Jahres fast unter rechten Winkeln und zu derselben Stunde, nämlich um 20′ nach 7ʰ morgens und abends, oder um 19ʰ 20′ und 7ʰ 20′. Wegen der grofsen Declination erreicht aber die Sonne den astronomischen Meridian im Winter zwei Stunden, und im Sommer eine halbe Stunde oder darüber früher als den magnetischen.

3036. Die Sonne geht schief durch beide Hauptquadranten und ziemlich gleichmäfsig quer durch deren centralen Theile; allein wegen der Westlichkeit der mittleren Declination ist sie zu allen Monaten am Cap im östlichen Quadranten näher als im westlichen, und so mufs der entstehende Effect, d. h. das Western vor Beginn der Mittagsschwingung, kräftiger seyn als das Oestern nach derselben, und so verhält's sich auch. Diefs steht in schönem und auffallendem Constrast mit Greenwich, welches, bei

1) Siehe die Curven auf Taf. V.

Digitized by Google

gleicher Art und fast gleicher Gröfse der mittleren Declination, nördlich von der Sonnenbahn liegt, so dafs die Sonne den magnetischen Meridian vor 12^h durchschneidet und sich dann noch einige Zeit nähert. Das Resultat ist das umgekehrte von dem beim Cap; denn die östliche Ablenkung am Ende der Mittagsschwingung ist kräftiger als die westliche vor Anfang derselben, wie aus den Curven Taf. V. wohl zu ersehen.

3037. Wählen wir den Juli, als den Monat, in welchem am Cap der Winter-Effect eintritt, so finden wir, dafs die Tagesschwingung sehr schwach ist, wie sie es seyn mufs, da die Sonne im nördlichen Wendekreis und sehr entfernt steht. Die östliche Schwingung ist um 3^h zu Ende, nachdem die Sonne den magnetischen Meridian schon etwa eine Stunde durchschnitten hat. Das obere oder nördliche Ende der Nadel geht nun zwei Stunden lang nach Westen, bis 5^h der Sonne folgend, wenn diese schon niedrig steht und ihrem Untergang nahe ist. Darauf geht die Nadel nach Osten, langsam bis 10^h, dann etwas schneller bis Mitternacht (dabei um 11^h die mittlere Lage durchschneidend), noch schneller um 16^h oder 17^h, und abermals schneller bis 19^h, wo sie ihr östliches Maximum erreicht hat. Dieser Effect glaube ich, rührt her von der aus Osten heran kommenden Kälte, die durch ihre paramagnetische Wirkung (3003) das Nadelende ostwärts führt. An der Erdoberfläche tritt in diesem Monat das Maximum der Kälte um 17^h oder 18^h ein, und dieſs Resultat, so weit es reicht, stimmt mit dem eben beschriebenen Effect. Um 19^h hemmt nicht nur die aufgehende Sonne dieſs Oestern, sondern treibt die Nadel rasch nach Westen zurück bis 23^h, zu welcher Zeit die Sonnenschwingung von Westen nach Osten anfängt, bis 2 oder 3^h dauert, und die tägliche Variation vervollständigt, worauf die Nadel westlich geht, und wie zuvor der Sonne folgt. In dieser Sonnenschwingung sieht man den Effect eines geneigten magnetischen Meridians (3000); denn obwohl die Sonne zu Anfang nur eine Stunde östlich vom astronomischen Meridian ist, be-

Digitized by Google

findet sie sich drei Stunden lang östlich vom magnetischen. Da die Schwingung ungefähr vier Stunden einnimmt, ist die warme Region wahrscheinlich um $12\frac{1}{2}$ oder 1^h dem magnetischen Meridian nahe.

3038. Der *Januar* stellt am Cap den Sommer vor. Die Tagesschwingung geht dann von 21^h bis 1 oder 2^h. Nach 2^h folgt das obere Nadelende der Sonne gen Westen bis 6^h, dann bewegt es sich zwei Stunden lang ostwärts, und nun geht es wieder langsam nach Westen. Der ganze Effect ist so, wie wenn die kalte Region von Osten gekommen und vorüber nach Westen gegangen wäre; die Temperatur unten ist zu dieser Zeit innerhalb 2° des Minimums. Dieses nächtliche Hinziehen der Nadel nach Westen (3004) schreitet langsam bis 15 oder 16^h vor, unterstützt durch die im Osten steigende Temperatur, die das Ende noch rascher westwärts treibt bis 20^h, da es in dieser Richtung sein Maximum erreicht hat. Um 21^h kehrt es zurück, getrieben in der Sonnenschwingung zum östlichen Extrem, durch einen Bogen, der mehr als doppelt so grofs ist wie der im Juli oder Winter des Caps.

3039. Ich glaube, das Obige ist eine richtige Erklärung der umgekehrten Bewegung der Nadel in den Monaten Januar oder Juli oder dem Sommer und Winter des Caps. Im Winter herrscht der paramagnetische Effect der kalten Luft zwischen 12 und 19^h, länger an der Ostseite des magnetischen Meridians verweilend; so wie er vorschreitet, vereint er sich mit dem der Sonnen-Region, um bis 19^h die Nadel westwärts zu führen; beide wirken zwar entgegengesetzt, befinden sich aber auch an entgegengesetzten Seiten des magnetischen Meridians (3005). Im Sommer hat die kalte Region viel weniger Macht, tritt früher ein [1]) und geht schneller vorüber, denn die Sommersonne ist hinter ihr, und sie unterstützt dann vielmehr die Sonne in der Fortführung der Nadel nach Westen.

3040. Einige andere Monate sind noch auffallender im Sommer-Effect. Im Februar macht die Nadel zwischen

1) Das Minimum der Temperatur unten erfolgt drei Stunden früher.

Digitized by Google

21^h bis 1^h eine 8′ betragende Schwingung von West nach Ost; zwischen 1^h und 3^h verändert sie sich kaum, von 3^h bis 6^h folgt sie der Sonne nach Westen, von 6^h bis 10^h verändert sie sich wenig, nur eine Spur nach Osten um 8^h zeigend, und nach 16^h geht sie westwärts, immer rascher, so dafs sie um 21^h auf dem westlichen Maximum ist, bereit zurück zu schwingen, so wie die Sonnen-Region vorübergeht. Die übrigen und intermediären Monate sind leicht zu verfolgen; sie stimmen vortrefflich mit den Principien der Hypothese. Wie einleuchtet, nimmt jeder Monat bis zu einem gewissen Grade Theil an dem Charakter des vorhergehenden Monats, wiewohl beim Cap nicht so sehr als bei einigen anderen Orten (3053). Die Curven des Decembers und Januars sind gleicher.

3041. Die Zeit der Sonnenschwingung erläutert den Effect des geneigten magnetischen Meridians (3000) aufserordentlich gut. Im November, December und Januar geht die Schwingung von 20^h bis 1^h oder 2^h. In diesen Monaten schneidet die Sonne den astronomischen Meridian ungefähr eine halbe Stunde früher als den magnetischen. Im October, Februar und März erfolgt die Schwingung später, von 21^h bis 2^h oder 3^h, denn dann geht die Sonne, eine Stunde oder mehr, später durch den magnetischen Meridian als durch den astronomischen. Im September, April und Mai erfolgt die Schwingung noch später, von 22^h bis 2 oder 3^h, und dann dauert es noch länger bis die Sonne den magnetischen Meridian erreicht. Im Juni, Juli und August geschieht die Schwingung am spätesten, von 23^h bis 3^h, und die Sonne erreicht in dem Verhältnifs spät den magnetischen Meridian. Was ich vom Durchgang der Sonne gesagt, gilt natürlich auch von der ihr vorausgehenden warmen Region; allein ich ziehe es vor, lieber von der sichtbaren Ursache (*visible type*) zu sprechen als von der unsichtbaren (*invisible reality*), weil es die Betrachtungen der Zeit einfacher verknüpft.

3042. Die Inclination verändert sich am Cap innerhalb 24 Stunden sonderbar, wie ich glaube, in Abhängigkeit

Digitized by Google

von ihrem mittleren Werth. Die Variation ist eine solche, dafs die Resultante der Wärme- und Kältewirkung zuweilen über, und zuweilen unter der Inclinationslinie liegt, nicht allein in verschiedenen Jahreszeiten, sondern auch, in einigen derselben zu verschiedenen Tageszeiten. Es würde viel Aufmerksamkeit erfordern, den ganzen Procefs aufzuklären. Im Juni, Juli und August, wo die Sonne und ihre warme Region sehr nördlich vom Cap sind, scheint die Inclination vergröfsert zu werden, so wie die Region vorübergeht; und diefs würde dem oberen Ende der Nadel eine Drehung geben wie die zu Hobarton (2909). Allein im November, December, Januar, Februar, März und April nimmt zu jener Zeit die Neigung ab, und die daraus erfolgende Drehung ist entgegengesetzter Art oder wie die zu St. Helena (3057) und Singapore (3061. 3067).

3013. Die täglichen Variationen der Intensität am Cap sind merkwürdig. In den Monaten October und April erreicht sie um 19^h oder 20^h ein Hauptmaximum; am Mittag, so wie die Sonne vorübergeht, sinkt sie auf ein Minimum; allmälig steigt sie auf ein zweites Maximum um 4^h oder 5^h und dann gelangt sie, nachdem sie um 8^h oder 9^h etwas gesunken ist, um 18^h oder 19^h des nächsten Morgens zu einem zweiten Hauptmaximum. In den Monaten vom Mai bis September tritt das Hauptmaximum um 21^h oder 22^h ein, und ihm folgt ein Minimum um 1^h oder 2^h, herrührend von dem Tages-Effect. Dann kommt um 5^h ein Maximum und nach 13 Stunden oder darüber ein zweites Minimum, fast so gering als das erste, und nur drei Stunden vor dem Hauptmaximum, so dafs dieses auf beiden Seiten eng von Minimis eingeschlossen ist.

3014. Diefs sind genau die Monate, während welcher das obere Nadelende sich frühmorgens ostwärts bewegt bis 19^h, genau bis zur Stunde des Eintritts der Minimum-Intensität. Von 18^h oder 19^h bis 21^h steigt die Intensität auf ein Maximum, genau wie die Kraftlinien sich vor der Sonnenregion westwärts bewegen, ehe sie rasch nach Osten zurückkehren; und so wie sie diesen Gang rasch zurücklegen, so

Digitized by Google

fällt auch die Intensität wieder auf ein Minimum, das um 1^h oder 2^h statthat, just wie die Schwingung vorüber ist. Hier ist also ein inniger Zusammenhang, und es ist interessant, das Nadelende mit einem Minimum der Kraft um 18^h und auch um 1^h in Osten zu sehen, was daran erinnert, dafs es innerhalb dieser Zeit von Ost nach West und wieder zurück nach Ost geschwungen ist.

3045. *St. Helena* [1]). — Diese Station ist vom Oberst Sabine als höchst interessant bezeichnet, da sie der Linie schwächster Kraft nahe und innerhalb der Wendekreise liegt, auch eine geringe Inclination besitzt [2]). Ebenso macht er auf die auffallende Thatsache aufmerksam, dafs die Nadel, zu denselben Stunden des Tages, in einigen Monaten nach einer Richtung wandert, und in anderen nach entgegengesetzter [3]). De la Rive hat versucht, diese Thatsache zu erklären [4]), aber Sabine hat gezeigt, dafs diese Erklärung ungenügend ist [5]).

3046. St. Helena, eine kleine Insel im südlichen atlantischen Ocean, ist etwa 1200 engl. Meilen vom nächsten Lande entfernt. Die Länge ist 5° 40′ W, die Breite 15° 56′ S; die mittlere Declination 23° 30′ W und die mittlere Inclination 22° S. Daher betheiligen sich drei Quadranten an der Tageswirkung der Sonne, besonders wenn diese südlich vom Aequator steht. Südlich von St. Helena selbst ist die Sonne in den Monaten November, December, Januar und Februar oder beinahe, nördlich im übrigen Theil des Jahrs. Zu einer Zeit durchschneidet die Sonne den astronomischen Meridian eher als den magnetischen; zu einer anderen Zeit ist es umgekehrt. Zu diesen eigenthümlichen Umständen kommt noch, dafs St. Helena ein Ort von grofsen localen Differenzen ist, und dafs seine Incli-

1) Siehe die Curven auf Taf. V.

2) *Magnetical Observations*, *St. Helena*, 1840—43.

3) *Philosoph. Transact.* 1847 *p.* 51. (Ann. Bd. 78, S. 494.)

4) *Ann. de Chim. et de Phys.* 1849 *Mars*, *T. XXV. p.* 310.

5) *Proceedings of the Roy. Society*, 1849 *Mai* 10, *p.* 821.

Digitized by Google

nation so gering ist, dafs der Tages-Effect der Sonne sie beständig deprimirt und verringert.

3017. Im Juni und Juli geht zu St. Helena die Sonne im südöstlichen Quadranten auf; etwa eine Stunde später geht sie in den nordöstlichen Quadranten und durchschneidet ihn am südlichen Ende, wobei sie auf halbem Wege in dem Quadranten etwa ein Drittel der Länge oder nahe 60° vom südlichen Ende ist. Sie verläfst diesen Quadranten um $1^h 20'$, durchschneidet um diese Zeit den magnetischen Meridian (folglich *nach* dem Durchgang durch den astronomischen) und tritt in den dritten oder nordöstlichen Quadranten, welchen sie gegen das nördliche Ende schief durchwandert. In unserem Winter, December und Januar, geht die Sonne auch im südöstlichen Quadranten auf, wie zuvor; allein sie bleibt nun bis 22^h darin und ist also eine lange Zeit an Orten starker Wirkung; in den nordöstlichen Quadranten tritt sie südlich von St. Helena und bleibt nicht zwei Stunden darin und zwar in den schwächsten Theilen desselben; sie verläfst ihn wieder *vor* der Ankunft im magnetischen Meridian, tritt dann in den nordwestlichen Quadranten, durchwandert ihn nahe am südlichen Ende innerhalb zwei Drittel einer Stunde, und verläfst ihn, wenn die Sonne für St. Helena untergeht.

3018. Da im Juni die Umstände denen einer südlicheren Station, wie Hobarton und das Cap, am nächsten kommen, so will ich die Variationen in diesem Monat zunächst betrachten. Das nördliche oder obere Ende der Nadel ist dann um Mitternacht oder 12^h seinem mittleren Orte nahe; es rückt gen Osten vor, anfangs langsam bis 16^h und dann immer schneller bis 19^h, wo es stillsteht und rasch nach Westen geht bis etwa 22^h; darauf ändert es sich wenig bis 3^h, bewegt sich nun westlich bis 5^h, alsdann langsam östlich bis 12^h, und endlich vorwärts bis 16^h oder 19^h, wie schon gesagt. Das Oestern von Mitternacht ab, beziehe ich wie zuvor auf die paramagnetische Wirkung der von Osten herkommenden Kälte (3003. 3025. 3037); der rasche Anwuchs dieses Oesterns von 16^h bis 19^h

Digitized by Google

stimmt überein mit der zunehmenden Kälte am frühen Morgen und auch mit dem Umstande, dafs die Sonne und ihre repräsentative Region dann aus dem südöstlichen Quadranten in den nordöstlichen übergeht und nicht weit von der neutralen Linie seyn mufs, denn diefs ist die Zeit des schnellsten Ganges der Nadel. Sowie die Sonne im nordöstlichen Quadranten vorrückt, hemmt sie zunächst das Oestern, wie um 19^h, und verwandelt es dann in ein Western (3014), welches übereinstimmend mit allen früheren Beobachtungen bis 22^h anhält; dann wird die Nadel ein wenig westlich von ihrer mittleren Lage gehalten bis 1^h, zu welcher Zeit sie noch nicht den magnetischen Meridian erreicht hat, nach dieser Stunde wird sie bis 3^h ein wenig ostwärts geführt. Diesen Effect, von 22^h bis 3^h betrachte ich als die Sonnenschwingung gen Osten; und ich glaube, indem ich den Globus (2996) untersuche, der kleine Betrag der Declination ist ganz übereinstimmend mit der relativen Lage von St. Helena und der warmen Region, combinirt mit den Lagen der activen und neutralen Theile der während dieser Zeit durchwanderten Quadranten. Von 3 bis 5^h bewegt sich das Nadelende westwärts, der Sonne folgend, und dieser Effect harmonirt mit der Idee, dafs das vorherige Verweilen der Nadel von 22^h bis 3^h in einer östlichen Lage der Effect der Sonne ist; dann ist das langsame Oestern von 5^h bis Mitternacht und darüber der Effect der herankommenden Kälte.

3049. Oberst Sabine hat gezeigt, dafs die Monate Mai, Juni, Juli und August zusammengefafst werden können, und so will ich nicht einzeln von ihnen sprechen. Während sie die Analogien zeigen, die sie zu einander haben, deuten sie auch die Uebergänge aus anderen Monaten und in dieselben an. Betrachten wir den September. Von 7^h ab, durch Mitternacht bis 16^h, steht die Nadel fast auf dem Mittel. Von 16 bis 18^h geht das obere oder nördliche Ende der Nadel vermöge der frühen Morgenkälte nach Osten. Dafs diefs Oestern eine volle Stunde früher als zuvor (3048) eintritt, stimmt ganz mit den Principien

Digitized by Google

überein, denn die Sonnenbahn und ihre diamagnetische Region ist der Station weit näher als zuvor, indem sie nun am Aequator ist. Von 18 bis 22^h sendet sie das Ende westwärts, übereinstimmend mit allen früheren Beobachtungen, und nun, zwischen 22^h bis 21^h erfolgt die Sonnenschwingung von West nach Ost, welche die Nadel noch eine Stunde länger im östlichen Extrem hält. Die Kürze der Zeit dieses Vorübergangs ist, glaube ich, ein schöner Punkt. Die Sonne ist noch nördlich von St. Helena, allein sie ist nun um so viel näher, dafs sie *denselben* Winkel von Ost nach West, in Bezug auf den Beobachtungsort, in weniger als der halben Zeit wie früher im Juni (3041) zurücklegt. Hierauf geht das Nadelende von 1 bis 6^h westlich, der Sonne folgend wie in anderen Fällen, und dann bewegt es sich von 6^h bis 9^h, vermöge der Abendkälte im Osten, ein wenig ostwärts, und bleibt der mittleren Lage nahe bis die gröfste Kälte vor Sonnenaufgang (3005. 3011) sie zwischen 16 und 18^h des anbrechenden Tages noch östlicher zieht.

3050. Aus der Betrachtung der Variationscurven (Taf. V.) wird man sehen, dafs die Curve für den nächsten Monat, October, merkwürdig ist, indem sie, bei gleichem Charakter wie die des Septembers, doch weit von ihr absteht, und diefs scheint herzurühren von dem Umstande, dafs die Sonne nun die Breite von St. Helena erreicht hat oder wenigstens beinahe. Meiner Voraussetzung gemäfs hat hier ein schwacher Nacht-Effect stattgefunden (3010); und um Mitternacht ist die Nadel in der mittleren Lage, sich langsam westwärts bewegend, wann die gröfsere Kälte, welche dem Sonnenaufgang vorausgeht, im Osten zur Wirksamkeit kommt, den westlichen Fortgang aufhebt, und sogar die Nadel ein Paar Stunden etwas ostwärts zieht, bis 18^h. Selbst die Sonnenregion ist um 16^h in demjenigen Quadranten (dem südöstlichen), dafs sie, wenn sie auf die Nadel wirken könnte, sich mit der Kälte im nächsten oder nordöstlichen Quadranten combiniren, und die Nadel ostwärts führen würde. Um 18^h sind beide, die vorausgehende Kälteregion und die nachfolgende Sonnenregion, in ihrem respectiven

Digitized by Google

Quadranten so weit vorgerückt, dafs sie vereint das Nadelende westlich führen, wie zuvor, bis 20^h und dann erfolgt die Schwingung von West nach Ost bis 24^h. Warum diese früher beginnt, länger anhält und vier Mal ausgedehnter ist als die Septemberschwingung, scheint davon herzurühren, dafs die Sonnenregion bis zur Breite von St. Helena heraufkommt, und somit in Bezug auf den magnetischen Meridian kräftiger, früher und länger wirkt, dafs sie auch, wegen der Westlichkeit der Declination, Punkte gleichen Abstandes vom magnetischen Meridian, so wie diesen selbst, früher erreicht, endlich sich ihr auch noch der Effect früherer Monate (3053) hinzufügt.

3051. Um 1^h beginnt die Nadel aus dem östlichen Extrem zurückzukehren, d. h. früher als in den vorhergehenden Monaten, weil der magnetische Meridian früher durchschnitten wird; dann folgt sie der Sonne bis 4^h, steht still, geht darauf vermöge der aus der Kälte entstehenden Abend- oder Nachtwirkung bis 10^h nach Osten zurück, kehrt, so wie die letztere im Quadranten vorrückt, abermals um (3004), bis sie zwischen 12 und 13^h in ihrer mittleren Lage ist. Dann wird sie von der kalten Region westwärts gezogen bis 16^h und darauf, so wie diese sich entfernt und zu wirken nachläfst, geht sie nach Osten zurück bis 18^h, wo sie noch westlich von ihrer normalen Lage ist; durch die aufgehende Sonnenregion, unterstützt vielleicht durch die ihr unmittelbar vorausgehende Kälte, welche nun wahrscheinlich auf dem magnetischen Meridian, oder darüber hinaus ist, wird sie endlich auf den Westpunkt vor der Sonnenschwingung geführt.

3052. Im December und Januar ist die Sonne südlich von der Station. Dieſs macht im allgemeinen Charakter der Curven für diese Monate keinen Unterschied, darf es auch nicht gemäfs der Hypothese, ausgenommen, dafs die Sonne, obwohl sie St. Helena sehr nahe ist, und sich ihrem Effect um diese Zeit noch der Effect der vorangehenden Monate hinzufügt (3050. 3053), sich doch in schwächeren Theilen des Quadranten befindet, und sie, während sie im

Digitized by Google

Hauptsegment ist, die Ecke und fast den Platz einnimmt, wo die beiden neutralen Ebenen einander scheiden; daher mufs ihre Wirkung geringer seyn, und so ist es auch; denn die Sonnenschwingung des Novembers und Februars ist gröfser als die des Decembers und Januars. Die Sonnenschwingung erfolgt im December zu derselben Zeit wie im October, obwohl sie in dem letzteren Monat den magnetischen Meridian nach, und in dem ersten vor Mittag schneidet; dennoch ist von einem zum andern nur ein Unterschied von einer halben Stunde, und die Beobachtungen sind vielleicht nicht gedrängt genug, um ihren besonderen Effect aus einem Intervall von vier Stunden absondern zu können. Aufserdem mögen accumulative Ursachen stören; die Orte der Decembercurve liegen sämmtlich etwas westlicher als die der Octobercurve.

3053. Der *cumulative* Effect der vorhergehenden Monate ist sehr wichtig und zeigt sich bei *St. Helena* deutlich (3050). Nimmt man z. B. die Curve des Septembers und vergleicht sie mit der des Octobers, als des folgenden Monats, so haben wir einen grofsen Unterschied von gewisser Art; vergleicht man ferner den September mit dem Monat, in welchem die Sonne vom südlichen Wendekreis zurückkehrt, statt zu ihm zu gehen, so zeigt sich, wenn sie dieselbe Lage wie im October erreicht hat, ein anderer auffallender Unterschied. Der März ist der nächste Monat für den zweiten Vergleich. Bis zu 20^h verändert sich dessen Curve wie die des Octobers, allein das obere Nadelende ist in der ganzen Zeit etwa eine halbe Minute östlich von seinem Platze im October. Um 20^h beginnt die Nadel im October aus Westen zu schwingen und erreicht das östliche Extrem um 24^h. Im März geht sie bis 21^h nach Westen; dann umkehrend erreicht sie das östliche Extrem um 1^h, so dafs die Schwingung eine Stunde später erfolgt, und während dieser Zeit ist das Ende eine halbe bis ganze Bogenminute westlicher als im October. Dieser Unterschied rührt her, glaube ich, von dem anhäufenden Effect der Monate October bis März, während welcher

Digitized by Google

Zeit die Wärme in der nördlichen Hemisphäre ab-, und in der südlichen zunimmt. Aehnliche Resulate in anderen Monaten machen es wahrscheinlich, dafs der Effect der Atmosphäre, obwohl hervorgerufen durch die Sonne, hinter dieser in ihrem jährlichen astronomischen Laufe zurückbleibt; und dafs deshalb die Sonne bei Annäherung an den Wendekreis weniger, und bei Entfernung von demselben mehr auszurichten scheint, als ihrem Ort zu der Zeit zukommt.

3054. Allein auch wo die Umstände scheinbar gleich sind, entspringt eine Verschiedenheit. So könnte man erwarten, dafs vom März bis zum April in einer Richtung und vom September zum October in der anderen Alles gleich wäre, mit Ausnahme eines geringen Verzögerungs-Effects (3053), welcher an beiden Seiten erscheinen würde; defsungeachtet liegen März und April in Sabine's Curven *zwischen* September und October und nahe zusammen, während die beiden anderen weit aus einander sind. Diesen Effect schreibe ich den verschiedenen Wärme-Zuständen der beiden Hemisphären zu (Dove). Vom September zum October geht die Sonne aus einer Hemisphäre, die im Sommer eine mittlere Temperatur von 17°,4 höher als die andere im Winter hat; allein im März und April geht sie aus einer Hemisphäre, deren mittlere Temperatur im Sommer nur 10°,7 höher als die der anderen im Winter ist (2949), und diese respectiven Unterschiede müssen dahin streben, September und October zu trennen, und März und April zusammenzubringen, wie aus den Curven Taf. V. zu ersehen.

3055. Ich brauche nicht weiter in die Declinationsveränderung von St. Helena einzugehen; von den Linien der übrigen Monate gelten die schon gemachten Bemerkungen. Des Obersten Sabine's wichtige Frage über die Ursache der Richtungs-Verschiedenheit in verschiedenen Monaten (3045), scheint mir jetzt beantwortet zu seyn, sowohl für diese Station als für die übrigen, unter sehr verschiedenen Breiten gelegenen Stationen, wo diese Verschiedenheit sich merkbar macht (3016. 3022. 3039).

Digitized by Google

3056. Die *Inclination* zu St. Helena hat eine Variation von sehr einfachem Charakter, indem sie um 7^h ein Maximum und um 22 und 23^h ein Minimum hat, mit nur *einer* Progression. Sie geht also in der Mitte der Sonnenschwingung zu ihrem Minimum, d. h. das obere Ende der Nadel geht nach Westen und sinkt herab von 16^h bis 19^h oder 20^h, währenddefs also die Neigung zunimmt; dann kehrt sie nach Osten zurück bis sie die neutrale Lage erreicht, während die Neigung noch mehr abnimmt. Die Nadel fährt fort nach Osten zu gehen, um die Sonnenschwingung zu vollenden, allein nun wächst die Neigung; um 24^h oder 1^h kehrt die Nadel (in Declination) hinter der Sonne nach Westen zurück, allein noch mit wachsender Neigung; um 5^h oder 6^h hat das Western fast aufgehört, und eine Stunde hernach ist die Neigung auf ihrem Maximum.

3057. So wie die Sonne und ihre Region vorübergehen, verringern sie die Neigung durch Niederdrückung der oberen Enden der Kraftlinien; und wie sie fortgehen, heben sich die Linien (2926. 2937) und die Neigung wächst. Die Ellipse oder Curve, welche die Bewegung des obern Nadelendes zu St. Helena darstellt, ist daher, so wie die Sonne von Osten emporsteigt, oben westwärts und unterwärts, und hinten unten gegen Ost; dann steigt sie um in den nächsten 24 Stunden wiederholt zu werden. Diese Richtung ist die umgekehrte von der repräsentativen Ellipse für Hobarton, welches ebenfalls eine südliche Inclination in gröfserem Grade hat. Allein diefs stimmt vollkommen mit der Hypothese überein; denn da die Region oben in der Luft befindlich ist, ist sie über dem Winkel, welchen die Neigung mit dem Horizont von St. Helena macht, und deshalb mufs sie die Kraftlinien niederdrücken und die Neigung verringern. Zu Hobarton, wo die Region in den tropischen Theilen ist, befindet sie sich innerhalb des Winkels, den die Neigungslinie mit dem Horizont bildet, und deshalb biegt sie die Kraftlinie aufwärts und *vergröfsert* die Neigung, und so haben an beiden Orten die Stücke der Ellipse, welche hinsichtlich der Declination in Zeit

Digitized by Google

Zeit und Richtung einander entsprechen, in Bezug auf Inclination entgegengesetzte Variationen.

3058. *Singapore* [1]). — Diefs ist eine sehr interessante Station, weil sie (bei 103° 53′ östl. L.) nur 1° 16′ nördl. Breite hat, also dicht am Aequator liegt. Ueberdiefs ist ihre Declination auch nur 1° 40′ O und ihre Inclination 12° S. Sie ist also der Linie schwächster Kraft nahe. Der magnetische Aequator der Nadel ist dem Erdaequator fast parallel, und die Quadranten (2929) sind sehr einfach vertheilt, indem der magnetische und astronomische Meridian fast zusammenfallen. In unserem Sommer geht die Sonne bei Tage durch den östlichen und den westlichen Nordquadrant, in unserem Winter durch den östlichen und den westlichen Südquadrant; und in gewissen Monaten durch alle vier Quadranten, fast der neutralen Linie des magnetischen Aequator folgend.

3059. Wenn also die Kraftlinie frei wäre, d. h. keinen Halt in der Erde hätte (2919) würden wir, der Hypothese nach, nur eine geringe oder keine Veränderung bei der Nadel zu erwarten haben, besonders in den Monaten, in denen die Sonne über dem magnetischen Aequator ist. Allein weil eine Inclination vorhanden ist, und die Kraftlinien, welche die Nadel beherrschen, nach Süden in der Erde festgebunden (*tied up*) sind (2929), während sie sich in der Luft und im nördlich gelegenen Raum bewegen können, so haben wir sowohl bei der Declination als bei der Inclination eine Variation in vollkommen übereinstimmender Weise; und wenn man dieses sich einprägt, wird man, glaube ich, keine Schwierigkeit finden, die monatlichen Resultate gemäfs der Hypothese zu verfolgen.

3060. Zunächst sind die Variationscurven am Tage denen zu St. Helena Monat für Monat so ähnlich, dafs die für jene gelieferte Beschreibung auch für diese genügt (3048). Die Sonnenschwingung erfolgt zu derselben Zeit und der, wie ich glaube, von dem Charakter der beiden Hemisphären

1) Siehe die Curven Taf. V. Die Data für Singapore sind aus den neueren sehr werthvollen Arbeiten des Kapt. Elliot abgeleitet.

Digitized by Google

abhängige Effect stellt sich auch ein (3054. 2949). Im letzteren Theil des Sonnen-Rückgangs, so wie in den Nachtstunden von 5^h bis 14^h, zeigen sich indefs auffallende Verschiedenheiten. Der Betrag der Variation erscheint gering; doch diefs rührt hauptsächlich davon her, dafs die Horizontalebene, in der wir ablesen, fast mit der freien Nadel coïncidirt, und somit die vorhin (3009 Anmerk.) erwähnte Berichtigung, die zur Erlangung des wahren Werths der Variation erfordert wird, hier sehr klein ist.

3061. Betrachten wir erstlich den *Juni*, wie bei St. Helena, so bewegt sich das obere Nadelende unter dem Einflufs der Morgenkälte, ostwärts wie zuvor, bis 19^h, steht dann still, geht darauf, von der Sonne getrieben, bis 22^h nach Westen, schwingt herab und unten nach Osten bis 3^h; nun folgt es der Sonne nach Westen bis 7^h, steht still und kehrt, wegen der herannahenden Kälte (3065) immer langsamer kriechend nach Osten zurück. Im Juli östert die Nadel etwas mehr vor 19^h, westert bis 23^h, und östert abermals bis 4^h. Die Sonnenschwingung ist also gegen die im Juni um eine Stunde vorgeschoben, was, wie ich glaube, mit der Anhäufung der Wärme über dem Lande (3054), so wie mit dem verzögernden Effect der Sonne (3053) zusammenhängt. Im August östert das Nadelende bis 19^h, stärker als im Juli, und am stärksten unter allen Monaten; dann westert es stark vor der Sonne bis 23^h, worauf die Sonnenschwingung beginnt und bis 5^h anhält, wie wenn die warme Region hinter der Sonne wäre, vielleicht gar 2 Stunden. Die Schwingungszeit ist sehr verlängert und nicht unnatürlich, da der Ort am Aequator und deshalb unter der Sonne liegt. Im September ist das Oestern und das Western, so wie die Sonnenschwingung geringer. Der April ist dem September gleich, ausgenommen, dafs letzterer den Effect der zuvor erwärmten Hemisphäre zeigt (3053).

3062. Dann giebt es zu Singapore vier Monate, November, December, Januar und Februar, wo die Sonne im Süden, und bei Tage ganz in den südlichen Quadranten steht (3058). Da die Sonne um 16^h oder 17^h aufgeht,

Digitized by Google

so bewegt sich der obere Theil der Kraftlinie (deren unterer in der Erde befestigt ist) bis 19^h oder 20^h nach Westen. Die Sonne ist zu dieser Zeit im südöstlichen Quadranten, und es stände vielleicht zu erwarten, dafs, wenn überhaupt eine Veränderung einträte, das nördliche oder obere Nadelende nach Osten ginge; allein es ergeben sich aus der Hypothese zwei oder drei Gründe, weshalb diefs nicht geschieht. Zu diesem Effect müfste vor allem zunächst die Neigung Null seyn, und dann, wenn diefs der Fall wäre, ist die Sonne so nahe in der neutralen Linie des magnetischen Aequators, dafs die Abweichung jedenfalls sehr klein wäre. Andererseits neigen die Kraftlinien gen Süden und werden also in der Erde gehalten. Die Wanderung der Sonne längs der neutralen Linie, welche bei ihrem Entstehen die ganze Kraftlinie nach Westen gesandt, und somit keine Declinationsveränderung bewirkt haben würde, kann jetzt nur die nördlichen Theile, so wie sie aus der Erde emporsteigen und mit dem allgemeinen Liniensysteme fortgeführt werden, nach Westen treiben, und somit den westlichen Gang der Nadel veranlassen, der wirklich eintritt. Aufserdem hat man, obwohl die Sonne südlich von jener neutralen Linie und auch von Singapore steht, Grund zu der Vermuthung, dafs die Mitte oder Resultante der warmen Region sogar von beiden nördlich ist (3063), was das eben beschriebene Western der Nadel unterstützen würde.

3063. Dove's Resultate zeigen, dafs die nördliche Hemisphäre, als Ganzes, wärmer ist als die südliche (2919). Ferner finden wir, wenn wir auf den Meridian von Singapore blicken, dafs in Norden weit mehr Land ist, was eine höhere Temperatur erzeugen mufs als im Süden; und selbst aus den Tafeln der localen unteren Temperatur ergiebt sich, dafs in Singapore der Mai, Juni, Juli und August die heifsesten Monate sind, der November, December, Januar und Februar die kältesten, was Alles uns vermuthen läfst, dafs die warme Region der Atmosphäre im Norden der Sonne und selbst gar von Singapore liegt (3067).

Digitized by Google

3064. Um 20^h beginnt die Sonnenschwingung von West nach Ost, und dauert bis 2^h; dann geht die Nadel nach West, der Sonne folgend, bis 10^h oder 11^h, wo sie ihrem Mittel nahe ist; darauf fährt sie fort, sehr langsam nach Westen zu gehen, bis 17^h, wo die Wirkung der Morgensonne dieses Western beschleunigt, bis 20^h, wo die östliche Sonnenschwingung erfolgt. Die Curve in diesen Monaten ist von sehr einfachem Charakter; der Nacht- oder Kälte-Effect scheint nur klein zu seyn, indem er eher durch ein Stocken als durch eine deutliche Bewegung nach Osten angezeigt wird.

3065. Die östliche Bewegung des Nadelendes im Mai, Juni, Juli und August steht mit der westlichen im November, December, Januar und Februar während derselben Stunden bis 19^h im auffallenden Gegensatz, und ich schreibe diefs dem Effect der kalten Region zu, welcher in den ersteren Monaten aus Osten kommt (3061) und in den letzteren fehlt. In Bezug hierauf haben wir ferner zu erwägen, dafs die warme Region nordwärts vom Aequator ist (3063), und dafs sie, so wie die Sonne sich von Norden nach Süden bewegt, es ebenfalls thut, sich jedoch nördlich von ihr hält. Die beiden kalten Regionen also, die unter höhern Breiten (3006) vor der Sonne in den Meridian gelangen, werden zu Singapore nicht dieselbe Relation haben, denn die im Süden wird dem Orte (*it*) näher, oder jedenfalls kräftiger, seyn als die im Norden. Wenn z. B. die Sonne nahe und am südlichen Wendekreis steht, wird die warme Region wahrscheinlich *über* Singapore hinweggehen und deshalb, weil sie am nächsten ist, zu dieser Zeit die kräftigste und directeste Lage haben; die kalten Regionen werden daselbst die schwächste Kraft und auch die ungünstigste Lage haben. Wenn aber die Sonne am nördlichen Wendekreis ist, ist die Kraft der warmen Region geschwächt, sowohl durch Entfernung als durch Richtung, und die südliche kalte Region erlangt durch vermehrte Stärke und gröfsere Nähe einen erhöhten Einflufs, und bewirkt so das Oestern vor 19^h.

Digitized by Google

3066. Noch wird man zu St. Helena und Singapore von 5^h bis 14^h einen auffallenden Unterschied in der Richtung der Nachtcurven bemerken. Am ersteren Ort sucht das Nadelende erst ostwärts dann westwärts zu gehen, während es sich am letzteren erst nach Westen und dann nach Osten bewegt. Die Verschiedenheit, glaube ich, entspringt daraus, dafs die kalte Nachtwirkung zu St. Helena in gröfserer Ausdehnung erscheint als zu Singapore. Singapore zeigt jene Wirkung, wie eben beschrieben (3065), im Juni, Juli und August, doch nur in geringem Grade, und zur spätern Stunde. Zu St. Helena, welches unter 16° S. liegt, mufs aus den oben (3065) gegebenen Gründen, der Kälte-Effect mit gröfserer Kraft auftreten und deshalb erfolgt das Oestern um 6^h und später; dafs diefs die Ursache sey, zeigt sich auch einigermafsen durch die Temperaturtafeln. Denn während zu Singapore der Unterschied zwischen dem Maximum und Minimum in 24 Stunden nur 3° bis 4° ist, beträgt er auf St. Helena 4°,5 bis 7°, und vier Fünftel oder gar fünf Sechstel dieser Depression erfolgt um 9^h, so dafs 4 oder 5 Stunden früher eine kalte Region in Osten aufgeht, welche die in den Curven ausgesprochene östliche Ablenkung hervorbringt.

3067. Die *Inclinations*veränderung zu Singapore ist höchst einfach, und so, wie es sich nach der Hypothese erwarten läfst. Die Sonne oder die Wärmeregion, ist, beim Durchgang durch den Meridian, immer über den Linien und drückt sie nieder. Die Veränderung (*it*) ist in allen Monaten gleich, am gröfsten bei Tage, am kleinsten am Mittage, von 8^h bis 18^h ist die Inclination (*it*) fast gleich, dann, sowie die Sonne aufgeht, nimmt sie rasch ab, bis 23 oder 24^h, worauf sie, sowie die Sonne fort ist, fast eben so rasch zunimmt bis 7^h oder 8^h. Der Betrag der Variation ist am gröfsten, wenn die Sonne vorüber ist oder südlich von Singapore steht, am kleinsten dagegen im Juni und Juli, wenn letztere dem nördlichen Wendekreis nahe ist. Im December und Januar, wenn die Sonne dem südlichen Wendekreise nahe ist, ist sie bedeutender als im

Digitized by Google

Juni oder Juli, was abermals zu zeigen scheint, dafs die Wärme-Region hauptsächlich im Norden der Sonne liegt (3063).

3068. Die totale Kraft verändert sich einfach; sie ist ein Maximum von 9 bis 12^h, und ein Minimum um 22 oder 23^h, oder gegen Mittag. Die gröfste Variation erfolgt im April und October oder zur Zeit der Nachtgleichen, die kleinste im Juli und Juni oder zur Zeit der Solstitien. Die Kraft ist am kleinsten gegen Mittag, wenn, wie ich vermuthe, die obere Luft sich im Zustande der schlechtesten Leitung befindet, und ein Magnet darin eine gröfsere Kraft zeigen würde. Allein, wie diefs auf die Curven unten an der Erde, wo sie dicht zusammengedrängt sind, einwirken würde, ist zweifelhaft. Alles was die Intensität betrifft, ist zu unsicher, und zu verwickelt, als dafs ich sie hier mit Nutzen betrachten könnte.

3069. Ich hoffe bald fernere experimentelle Data zur Erläuterung und Prüfung der von mir aufgestellten Ansicht über die physikalische Ursache der magnetischen Variationen zu geben, namentlich diejenigen, welche ich mittelst der Differential-Waage zu erlangen hoffe in Betreff der Wirkung des Sauerstoffs, die Magnetkraftlinien unter verschiedenen Umständen abzulenken [1]).

Royal Institution, 1850 Nov. 16.

1) Es folgt nun noch im Originale eine Reihe numerischer Tafeln über die stündlichen Veränderungen der magnetischen Elemente am Cap, zu St. Helena und Singapore, die wir hier fortlassen, da die Hauptresultate derselben auch durch die Curven auf Taf. V. ausgedrückt werden. *P.*

Digitized by Google

II. *Acht und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

[Bei der Unmöglichkeit diese Abhandlung, die uns, wie die folgende, vom Hrn. Verf. aus dem *Philosoph. Transact. f.* 1852 zugesandt worden ist, ausführlich mitzutheilen, halten wir es für gut, sie wenigstens durch den Auszug kennen zu lehren, den die im *Philosoph. Magazine* 1852, *T. III.* enthaltenen *Proceedings* der *Royal Society* von ihr geben. *P.*]

Der Verf. definirt eine Magnetkraftlinie als diejenige Linie, welche von einer sehr kleinen Magnetnadel beschrieben wird, wenn sie in jeder, ihrer Länge entsprechenden Richtung so bewegt wird, dafs sie beständig eine Tangente der Bewegungslinie bleibt; oder als diejenige, längs welcher ein Querdraht in jeder Richtung bewegt werden kann, ohne dafs eine Tendenz zur Bildung eines elektrischen Stromes in ihm entsteht, während, wenn er in irgend einer andern Richtung bewegt wird, eine solche Tendenz vorhanden ist. Solche Linien werden durch Eisenfeilicht, welches man auf einen Magnet streut, angezeigt. Diese Linien haben eine bestimmte Richtung; sie besitzen in und an dieser Richtung entgegengesetzte Eigenschaften, und die Kräfte in irgend einem Theile derselben sind für einen gegebenen Magnet bestimmte. Sie können, wie der Verfasser glaubt, mit grofsem Vortheil angewandt werden an die Magnetkraft, ihrer Natur, Beschaffenheit und relativen Gröfse nach, vorzustellen, und zwar in vielen Fällen, wo andere Repräsentationen der Kräfte, z. B. Wirkungscentra, nicht anwendbar sind.

Der Ausdruck *Kraftlinie*, wie er eben definirt ist, soll nichts bezeichnen als die *Stärke* und *Richtung* der Kraft an einem bestimmten Ort; und er schliefst keine Idee von der Natur der physischen Ursache der Erscheinungen ein. Sollten zugleich Gründe vorhanden seyn zu der Ansicht, dafs der physische Zustand der Kraft überhaupt theilnehme an

Digitized by Google

der Natur eines Stroms oder eines Strahls, einer Ansicht, zu welcher der Verfasser hinneigt, so sieht er in jenem Ausdruck kein Hindernifs, kein gröfseres als in den Ausdrücken *Strom* und *Strahl,* wie sie bei Betrachtungen der Elektricität und des Lichts gebraucht werden.

Die *Magnetkraftlinien,* wie sie eben definirt wurden, lassen sich entweder durch eine Magnetnadel oder durch einen bewegten Draht erkennen; allein die beiden Methoden gründen sich auf sehr verschiedene Zustände und Wirkungen der Magnetkraft, und der bewegte Draht scheint die meiste Anwendung zuzulassen. Das Princip läfst sich anwenden auf Orte, die für die Nadel unzugänglich sind, und es kann, bei jedem Abstand vom Centralmagnet, die Kräfte in einer gegebenen Ebene oder Fläche aufsummen. Es hat keine Beziehung zu den Resultaten der Attraction oder Repulsion, ist ihnen in einigen Fällen entgegengesetzt; allein es giebt, wie der Verfasser glaubt, eine richtige Ansicht von der Anordnung der Magnetkräfte, und führt zu einem genaueren Verständnifs der Natur der Kraft. Aus diesen Gründen empfiehlt er dessen Anwendung, nicht mit Ausschlufs der Nadel, sondern in Verbindung mit derselben. Er entwickelt dann die experimentellen Methoden und deren Resulate, zunächst bei einem Magnetstab.

Zwei Magnetstäbe, jeder 12″ lang, 1″ breit und 0″,4 dick, wurden in einigen Abstand und die gleichnamigen Enden in gleicher Richtung neben einander und parallel an einer Axe befestigt, so dafs man sie als einen einzigen Magnetstab nach Belieben um eine gemeinschaftliche Axiallinie rotiren lassen konnte. Ein Draht, welcher in den einen Pol eintrat, wurde längs der Axe dieser magnetischen Vorrichtung fortgeleitet, in der Mitte, an dem aequatorialen Theile, nach aufsen gebogen und ausseits des Magnets in einiger Entfernung zu dem Orte zurück geführt, von wo er ausging. Zuweilen bestand dieser Draht aus drei Theilen, erstens einem axialen, zweitens einem radialen, der vom Centrum zur Oberfläche des Aequators ging und daselbst mit einem den Magnet einschliefsenden Kupferring verbunden

Digitized by Google

war, und drittens einem Theil, der von diesem Ring an der Aufsenseite des Magnets zu dem Ausgangspunkte zurückführte. Jeder dieser Theile konnte entweder für sich oder in Verbindung mit den übrigen rotiren; der elektrische Contact war in allen Fällen vollkommen, während der Draht durch einen seidenen Ueberzug von dem Magnete isolirt war. Die Enden dieser Schlinge (*loop*), wie sie heifsen mag, waren mit einem Galvanometer verbunden, und so konnte die An- oder Abwesenheit eines elektrischen Stromes und dessen Stärke gemessen werden. Es wurden zwei Galvanometer angewandt, ein von Ruhmkorff, mit dünnem Draht und sehr empfindlich, das andere, vom Verfasser construirt, mit 0″,2 dickem Kupferdraht, der nur ein Mal um die Nadel herumging; für starke Ströme von geringer Intensität, wie die in dem rotirenden Draht entstehenden, wurde das letztere viel empfindlicher befunden als das erstere.

Es werden nun die allgemeinen Beziehungen des bewegten Drahts zu den Magnetkraftlinien specificirt und es wird dabei auf die vom Verfasser in der ersten Reihe seiner Experimental-Untersuchungen gemachte Entdeckung und Beschreibung verwiesen; auch wird das Gesetz der Entwicklung der inducirten Ströme angegeben. Um es leicht auszudrücken (*Referring to an easy natural standard*) kann man sagen, dafs wenn unter unsern Breiten, wo die Kraftlinie 69° herunterneigt, wie die Neigungsnadel zeigt, eine Person sich mit ausgestreckten Armen vorwärts bewegte, die Richtung des elektrischen Stroms, der sich in einem durch die Arme vorgestellten Draht zu erzeugen suchte, von der rechten Hand durch die Arme und den Körper zu der linken gehen würde.

Bei einigem Nachdenken ist ersichtlich, dafs ein Draht, welcher einen regelmäfsigen Magnetstab an einem Ende berührt, dann durch die Luft geht, um wieder an dem Aequator mit ihm zusammen zu kommen, nach einmaliger Herumführung um den Magnet, wobei er in schleifendem Contact mit dem Aequator zuletzt seine anfängliche Lage wieder

Digitized by Google

einnimmt, alle äufseren Kraftlinien des Magnets *einmal*, und weder mehr noch weniger, durchschnitten haben wird, wie auch seine Bahn durch die Luft oder der Abstand seiner Theile von dem Magnet gewesen seyn möge. Wenn nun der äufsere Theil der eben beschriebenen Schlinge in dieser Weise eine gewisse Zahl von Graden um die Axe des Magnets herumgeführt wird, und letzterer stillsteht, so zeigt das Galvanometer einen elektrischen Strom in gegebener Richtung an, und wenn die geeigneten Vorsichtsmafsregeln (welche beschrieben werden) getroffen sind, ist der Strom für eine gleiche Zahl von Graden der Umdrehung, von gleichem Betrage, es mag die Bewegung schneller oder langsamer geschehen, oder der Draht in seinem Laufe einen gröfsern oder geringern Abstand vom Magnet haben.

Wenn der äufsere Theil der Schlinge, so wie auch der axiale Theil derselben, festgehalten wird, und man setzt den Magnet mit dem kurzen radialen Theil des Drahts in Rotation, so wird ebenfalls ein elektrischer Strom erzeugt, von genau gleicher Stärke mit dem früheren, für eine gleiche Zahl von Graden der Umdrehung; allein seine *Richtung* ist die umgekehrte von der des früheren Stroms, wenn die Richtung der Rotation dieselbe ist. In jedem Fall findet bei Umkehrung der Rotationsrichtung auch eine Umkehrung des erzeugten Stromes statt. Der sich bewegende radiale Theil des Drahts war in diesem Fall isolirt vom Magnet; und viele andere Versuche, z. B. mit Scheiben an den Enden des Magnets, zeigten, dafs die Bewegung des Magnetes selber gleichgültig ist, und dafs, er mag rotiren oder stillstehen, wenn nur der Draht sich bewegt, das Resultat dasselbe ist.

Die Rotation des axialen Theils der Schlinge erzeugt keinen Effect; ob dieser Theil rotire oder nicht, hat nicht den geringsten Einflufs auf die schon beschriebenen Resultate; er wirkt blofs als Leiter und ist in jeder anderen Beziehung indifferent. Dieser axiale Draht kann durch den Magnet selber ersetzt werden; denn wenn er nur vom Pole

Digitized by Google

ab nach Aufsen da ist, und der radiale Draht den Magnet in der Mitte berührt, so dafs die Leitung geschlossen ist, sind alle Resultate genau wie zuvor. Der axiale Draht kann auch zur Mitte gehen und dort den Magnet berühren und der radiale Draht entfernt werden: es treten dieselben Resultate auf. Endlich können beide Theile, der axiale und der radiale fortgenommen, und der Magnet sowohl als Leiter wie als bewegter Draht benutzt werden, und doch bleiben die Resultate unverändert.

Aus Resultaten wie diese, zieht der Verfasser in Bezug auf die anfangs definirten *Magnetkraftlinien* folgende Schlüsse. Der Betrag der Magnetkraft (wie es der entwickelte elektrische Strom zeigt) ist ein bestimmter, und für dieselben Kraftlinien gleich, welch einen Abstand der Punkt oder die Ebene, wo die Kraft ausgeübt wird, vom Magnet auch haben möge. Ein Verlust oder Zerstören oder Verschwinden oder Latentwerden der Magnetkraft giebt es nicht. Convergenz oder Divergenz der Kraftlinien macht keinen Unterschied im Betrage ihrer Kraft. Schiefe der Durchschneidung hat auch keinen Einfluſs. In einem gleichmäfsigen Felde der Magnetkraft ist die Elektricitätsentwicklung proportional der Zeit der Bewegung oder der Geschwindigkeit oder dem Betrage der durchschnittenen Kraftlinien.

Hierauf wurde der *innere Zustand* des Magnets untersucht, mittelst der Resultate, die mit dem radialen Draht oder dem rotirenden Magnet, wenn dieser einen Theil der Schliefsung ausmachte, erhalten wurden. Der Schluſs daraus war: dafs innerhalb des Magnets ebenso bestimmte Magnetkraftlinien von gleichem Betrage vorhanden sind wie aufserhalb desselben, dafs diese die Fortsetzung von jenen sind, und dafs jede Magnetkraftlinie, wie weit sie sich auch vom Magnet ab erstrecken möge, (principiell ins Unbestimmte) eine geschlossene Curve ist, welche in gewissem Theile ihrer Bahn durch den Magnet geht, übereinstimmend mit dem, was man Polarität nennt.

Da in einem geschlossenen Draht, wenn er quer durch

Digitized by Google

Magnetkraftlinien geht, ein elektrischer Strom inducirt wird, so wurde zunächst der Einfluſs einer Veränderung der *Masse* oder des *Durchmessers* des Drahtes untersucht, und eine andere Form von Apparat angewandt, in welchem die Drahtschlinge einen gegebenen Betrag von Linien durchschneiden konnte. Jede Schlinge bestand aus einem Draht von gleicher Länge, aber verschiedenem Durchmesser, oder aus einem oder mehren Drähten von gleichem Durchmesser. Es ergab sich, daſs der entwickelte Strom oder Betrag von Elektricität sich nicht einfach verhält wie der Raum, eingenommen von der *Breite* des Drahts, welche der Kraftlinie, die Relation zu der Polarität der Kraft hat, entspricht auch nicht wie der, eingenommen von der *Dicke* oder derjenigen Dimension des Drahts, welche die Anzahl der durchschnittenen Kraftlinien einschlieſst und, entsprechend der Bewegungsrichtung, Relation zu der aequatorialen Beschaffenheit der Linien hat, sondern sich wie beide vereint oder wie die Masse des Drahts verhält.

Der bewegte Draht wurde darauf mit verschiedenen Medien umgeben, wie Luft, Alkohol, Wasser, Terpenthinöl u. s. w. allein in allen waren die Resultate gleich.

Es wurden auch verschiedene Metalle angewandt, und Resultate erlangt, die mit den in der zweiten Reihe dieser Untersuchungen beschriebenen übereinstimmen. Es ergab sich, daſs der erregte Strom sich direct verhält wie die Leitungsfähigkeit der angewandten Substanz. Er steht in keiner Beziehung zum magnetischen Charakter des Körpers; denn Eisen liegt zwischen Zinn und Platin, und zeigt keine andere Verschiedenheit als die vom Leitungsvermögen herrührende, weicht von diesen Metallen viel weniger ab als es nichtmagnetische Metalle thun.

Hierauf kam die magnetische *Polarität* in Betracht. Der Verfasser versteht mit diesem Worte die entgegengesetzten, und antithetischen Wirkungen, die an den gegenüberliegenden Enden oder gegenüberliegenden Seiten eines begränzten Stücks einer Kraftlinie auftreten. Er ist der Meinung, daſs diese Eigenschaften oder Zustände nicht immer mit

Digitized by Google

Sicherheit durch Anziehungen und Abstofsungen angezeigt werden. So wird, wie aus früheren Untersuchungen über diamagnetische und paramagnetische Wirkungen ersichtlich, eine Lösung von Eisenvitriol durch einen Magnetpol angezogen, wenn sie von einer verdünnteren Lösung umgeben ist, aber abgestofsen, wenn sie von einer concentrirten Lösung umgeben ist. Dennoch kann die Richtung der durch sie und die umgebenden Media gehenden Kraftlinien in diesen beiden Fällen nicht umgekehrt seyn, und daher mufs die Polarität dieselbe bleiben. Der bewegte Draht zeigt indefs in solchen Fällen die wahre Polarität oder die Richtung der Kräfte an. Zur Anwendung ihrer Principien in dieser Beziehung auf die Metalle wird ein Apparat beschrieben, durch welchen man Scheiben von verschiedenen Metallen zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets rotiren lassen, und die entwickelten elektrischen Ströme zu einem Galvanometer führen kann. Mögen nun die Scheiben von paramagnetischen und diamagnetischen Metallen seyn, entweder von Eisen, oder von Wismuth, Kupfer, Zinn oder Blei, so zeigt doch die Richtung des entstandenen Stroms, dafs die durch die Metalle gehende magnetische Kraftlinie in allen Fällen *dieselbe* ist, und folglich wird die Polarität darin auch dieselbe seyn.

In Uebereinstimmung mit der in diesem Aufsatz enthaltenen Definition der *Magnetkraftlinie* entwickelt der Verfasser nun ausführlicher seine Meinung in Betreff der Ausdrücke, die er in den drei letzten Reihen seiner Untersuchungen gebraucht hat; und auf die früheren, seit dem Jahre 1830 erhaltenen Resultate verweisend, setzt er aus einander, welchen Einflufs die Idee der Kraftlinien gehabt habe auf den Gang seiner Untersuchungen und auf die zu verschiedenen Zeiten erlangten Resultate, deren Ausdehnung er ihr verdankt. Zuletzt empfiehlt er noch aus speciellen Gründen die Untersuchung der Magnetkraftlinien mittelst eines bewegten Leiters.

Digitized by Google

III. *Neun und zwanzigste Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität; von Michael Faraday.*

(Nach den *Proceedings of the Roy. Society* im *Phil. Mag.* 1852 *T. III. p.* 309.)

In der gegenwärtigen Untersuchungsreihe bemüht sich der Verfasser zunächst die in der vorhergehenden rücksichtlich des bestimmten Charakters der Magnetkraftlinien angekündigten Principien festzustellen, und zwar durch Resultate, die experimentell mit der Magnetkraft der Erde erhalten worden. Zu dem Ende kehrt er zu dem früher beschriebenen dicken Galvanometerdraht zurück und ermittelt die Vorsichtsmafsregeln in Bezug auf Sauberkeit (*cleanliness*) der Gewinde, Dicke und Kürze der Leiter, Vollkommenheit der, entweder durch Löthen oder durch Quecksilber bewirkten, Berührungen; auch giebt er die Werthe doppelter Beobachtungen an d. h. solcher zu beiden Seiten des Nullpunkts gemachten. Dann erläutert er die Natur des auf die Nadel ausgeübten Impulses, dafs er nicht der eines constanten Stroms in begränzter oder unbegränzter Zeit sey, sondern der einer gegebenen Elektricitätsmenge, die innerhalb einer kurzen Zeit entweder regel- oder unregelmäfsig wirkt. Es wird experimentell gezeigt, dafs solche Impulse gleiche Ablenkungsresultate hervorbringen, und dafs wenn innerhalb einer begränzten Zeit zwei oder mehre solcher Impulse gegeben werden, der ganze Schwingungsbogen nahezu proportional ist der Anzahl derselben, so dafs der Betrag der Ablenkung, *innerhalb gewisser Gränzen,* die als Strom durch das Instrument gegangene Elektricitätsmenge beinahe direct anzeigt.

Wird aus einem Draht ein Quadrat von 12″ Seite gebildet, dasselbe an einer durch die Mitte zweier gegenüber stehenden Seiten gehenden Axe befestigt, diese Axe winkelrecht gegen die Neigungslinie gestellt, und das Ganze

Digitized by Google

nun in Rotation versetzt, so schneiden, bei jeder Umdrehung, zwei Seiten des Quadrats die Kraftlinien der Erde zwei Mal, während sie durch ein Areal von einem Quadratfufs gehen. Die Ströme, welche sich dann in den unteren und oberen Theilen des Rechtecks zu bewegen trachten, vereinigen sich, um einen Strom durch den Draht zu treiben, und wenn dieser Draht an einem dicht bei seiner Axe liegenden Orte aufgeschnitten, und daselbst mit einem (im Aufsatz beschriebenen) Commutator von einfacher Construction verbunden wird, so kann der im Rechteck circulirende Strom zu einem Galvanometer geleitet und daselbst gemessen werden. Ein solches Rechteck, gebildet aus Kupferdraht von 0,05 Zoll Dicke, erzeugte bei einer Umdrehung einen gewissen Schwingungsbogen. Fünf oder zehn Umdrehungen innerhalb der Schwingungszeit der Nadel ausgeführt, erzeugten nahezu das Fünf- oder Zehnfache dieser Ablenkung. Das mittlere Resultat im vorliegenden Falle war 2°,624 pro Umdrehung. Als dieselbe Drahtlänge zu verlängerten oder verkürzten Rechtecken umgebildet, also das eingeschlossene Areal in verschiedenen Richtungen gegen die Umdrehungsaxe verringert wurde, war doch die Ablenkung jedesmal proportional dem eingeschlossenen Areal, was zeigt, dafs der entstandene Effect proportional war der Anzahl der von dem rotirenden Drahte durchschnittenen Kraftlinien. Dasselbe Resultat wurde erhalten, als zwei Quadrate angewandt wurden, deren Areal im Verhältnifs 1:9 standen.

Quadrate von gleichen Flächeninhalt aus Kupferdraht von verschiedener Dicke gebildet, liefsen die Wirkung des Widerstandes (*obstruction*) in den leitenden Theilen des Systems erkennen und messen. So waren bei Drähten von 0",05, 0",1 und 0",2 Durchmesser, also 1, 4 und 16 Masse, die Ablenkungen 1,0, 2,78 und 3,45, im Resultat fast identisch mit dem, welches bei früheren Untersuchungen mit denselben Drähten durch den Gebrauch von Schlingen (*loops*) und einem Magnetstab (*local magnet*) erhalten worden war. Beim Vergleiche zweier gleichen Rechtecke,

Digitized by Google

das eine bestehend aus einem 4 Fufs langen und 0,1 Zoll dicken Draht in einem Umgang, das andere aus einem 16 Fufs langen und 0,05 Zoll dicken Draht in vier Umgängen, entwickelte, bei gleichem Betrage von Bewegung, das erstere die gröfsere Elektricitätsmenge, das letztere die höhere Elektricitätsspannung, übereinstimmend mit den ausgesprochenen Principien. Der Verfasser verweifst dann auf den Gebrauch von Drahtringen aus einer oder mehreren Windungen, und giebt die Fälle an, in welchen sie werthvolle Mittel zur experimentellen Untersuchung abgeben.

Der relative Betrag und die Anordnung der Kräfte eines Magnets, wenn er allein oder in der Nähe anderer Magnete ist, bildet den Gegenstand des gegenwärtigen Aufsatzes. Es wird zunächst eine Unterscheidung gemacht zwischen gewöhnlichen Magneten, welche von anderen Magneten stark influencirt werden, so dafs ihre äufsere Kraft bedeutend variirt, und den sehr harten Magneten, wo dieser Einflufs wenig oder gar nichts beträgt. Die Kraft eines gegebenen Magnets wurde nach der in der letzten Reihe gegebenen Weise gemessen durch eine Drathschlinge (*loop*), die einmal über seinen Pol fortging. Ein gegebener harter Magnet, in unveränderlicher Lage, solchergestalt abgeschätzt, ergab eine Kraft, die einer Ablenkung von 16°,3 aequivalent war. Dann wurde diesem ein anderer Magnet, dessen Kraft 25°,74 betrug, nahe gebracht, in verschiedenen Lagen, mit gleich- oder ungleichnamigen Polen gegenüber, so dafs seine Kraft zuweilen verstärkt, zuweilen geschwächt werden mufste. Es ergab sich, dafs im günstigsten Falle, wenn nämlich die beiden Stäbe zu einem Hufeisenmagnet combinirt waren, die Kraft des ersten nur um 2°,15 verstärkt wurde, und diese Verstärkung bei Fortnahme des überwiegenden Magnets sehr viel verlor; im umgekehrten Fall ergab sich eine Schwächung von nur 1°. Ein vom Dr. Scoresby gemachter, sehr harter Magnet von 6°,88 Kraft wurde unter dem Einflufs eines andern von doppelter Kraft in beiderlei Weise nicht merklich verändert. Unter dem Einflufs eines anderen von sechsfacher Kraft erlitt eine Veränderung von nahe

Digitized by Google

nahe 1°. Gewöhnliche Magnete werden um die Hälfte ihrer Kraft und darüber verändert, im äufsersten Falle ganz überwältigt und umgekehrt.

Aus diesen Resultaten folgert der Verfasser, dafs die (wie zuvor definirten) Kraftlinien verschiedener Magnete, bei vollkommener Unveränderlichkeit derselben, in günstigen Lagen coalesciren, und durch diese Coalescenz keine Vermehrung der gesammten Kraft erfolgt, so dafs die Querschnitte der benachbarten (*associated*) Pole dieselbe Kraftsumme geben als die Querschnitte der Linien beider Pole für sich, dafs ebenso wie der Betrag der äufseren Kraft des Magnets sich nicht verändert, auch der Betrag der inneren Kraft unverändert bleibt, dafs die Verstärkung der Kraft auf eine Magnetnadel oder ein Stück weichen Eisens zwischen zwei gegenüberstehenden günstigen Polen veranlafst wird durch eine Concentrirung der zuvor zerstreuten Linien und nicht durch Hinzufügung der Kraft, die durch die Kraftlinien des einen Pols vorgestellt wird, zu der der Kraftlinien des anderen. Durch *all* die Kraftlinien wird nicht mehr Kraft repräsentirt als zuvor, und eine Kraftlinie ist in sich selbst darum nicht kräftiger, weil sie mit einer Kraftlinie eines andern Magnets coalescirt. In dieser wie in anderer Beziehung ist die Analogie zwischen dem Magnet und der Volta'schen Säule vollkommen.

Der Aufsatz schliefst mit einigen practischen Bemerkungen über die Darstellung der Kraftlinien durch Eisenfeilicht und mit einer Beschreibung der Beugung, welche die Linien durch Halbkugeln von heifsem und kaltem Nickel erleiden, und die der Verfasser als entsprechend der Wirkung des warmen und kalten Sauerstoffs in der Atmosphäre betrachtet, wie er sie zur Erklärung einiger Phänomene des atmosphärischen Magnetismus, besonders der jährlichen und täglichen Variation, angewandt hat [1]).

1) Einen späteren Aufsatz des Hrn. Verfassers: Ueber den physischen Charakter der Magnetkraftlinien (*Philosoph. Magazine, Juni* 1852, *p.* 401 — 428) müssen wir, einstweilen wenigstens, ganz übergehen. *P.*

Digitized by Google

IV. *Ueber die Farben dicker Platten;* von G. G. Stokes,

Lucasian-Professor der Mathematik an der Universität zu Cambridge.

(Aus den *Transact. of the Cambridge Phil. Society, Vol. IX. pt. II.*)

Der Ausdruck »*Farben dicker Platten*« ist einer Klasse von Erscheinungen beigelegt worden, die Newton entdeckt und in seiner *Optics*, Buch II, Pt. IV. beschrieben hat. Bei Newton's Versuch wurde das Sonnenlicht durch ein Loch im Fensterladen in ein dunkles Zimmer geleitet und winkelrecht auf einen gläsernen, hinten belegten Hohlspiegel fallen gelassen. Dann war ein weifses Kartenblatt, das ein kleines Loch hatte, im Abstand des Centrums der Krümmung des Spiegels eingeschaltet, so dafs das regelmäfsig reflectirte Licht durch dasselbe kleine Loch, durch welches es eingetreten war, zurückkehrte. Es zeigte sich dann auf der Karte rings um das Loch eine Reihe Farbenringe. Die Bildung dieser Ringe wurde von Newton dem beim Eindringen in das Glas zerstreuten und darauf regelmäfsig reflectirten und gebrochenen Lichte zugeschrieben; und es gelang ihm, aus seiner Theorie der Anwandlungen die Gesetze dieser Ringe herzuleiten, hinsichts sowohl der Relation zwischen den Durchmessern der successiven Ringe, als auch der Farbenordnung und der Veränderung im Durchmesser eines gegebenen Ringes, entsprechend einer Veränderung entweder im Krümmungsradius der Flächen oder in der Dicke des Glases, ja selbst hinsichtlich der absoluten Gröfse des unter gegebenen Umständen gebildeten Systems. Die Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn der Spiegel ein wenig geneigt wird, so dafs das Bild auf eine Seite des Loches zu liegen kommt, sind sehr sonderbar, und von Newton in seiner 10. und 11. Beobachtung beschrieben.

Im Laufe einer Reihe experimenteller Untersuchungen über diese Ringe entdeckte der Duc de Chaulnes zufällig [1]), dafs ihre Lebhaftigkeit durchs Behauchen des Glases

1) *Mémoires de l'Académie*, 1755 *p.* 136.

Digitized by Google

bedeutend gesteigert wird. Um sich eine bleibende Trübung zu verschaffen, da die Feuchtigkeit bald verdunstete, breitete er ein Gemisch von Milch und Wasser in geringer Menge auf der Fläche aus, welches nach dem Trocknen einen Grad von Trübheit hinterliefs, der zu den Versuchen sehr geeignet war. Als er statt des Glasspiegels einen Metallspiegel nahm, vor welchen er ein matt gemachtes Glimmerblatt aufstellte, konnte er leicht beobachten, wie sich bei einer Veränderung im Abstande des Glimmers vom Spiegel, der Durchmesser der Ringe veränderte. Bei dieser Form des Versuchs war die Glasplatte ersetzt durch die Luftplatte, die zwischen dem Glimmer und dem Spiegel vorhanden war. Es wurden auch Ringe erzeugt, wenn das matte Glimmerblatt durch einen Schirm aus feinem Musselin ersetzt war. In diesem Falle waren jedoch, der Angabe des Herzogs zufolge, die Ringe beinahe quadratisch, obwohl an den Ecken etwas abgerundet. Eine Reihe paralleler Drähte gab nur einen hellen Streif, durchschnitten von kürzeren Streifen, die lebhaft gefärbt waren. Selbst die Klinge eines Messers erzeugte eine ähnliche Erscheinung, zwar schwach, aber hinreichend, um die Identität mit den früheren festzustellen. Es ist unnöthig, hier die theoretischen Ansichten des Duc de Chaulnes aus einander zu setzten, da die Fortschritte der Optik seitdem zu einer vollständigen Erklärung der Bildung dieser Ringe geführt haben.

Der Undulationstheorie gemäfs, wurden die Farben dicker Platten zuerst von Th. Young erklärt [1]); er leitete sie ab von der Interferenz zweier Lichtbündel, von welchem das eine beim Eintritt in das Glas zerstreut, und dann regelmäfsig zurückgeworfen und gebrochen, das andere aber erst regelmäfsig gebrochen und zurückgeworfen und dann bei seiner Rückkehr durch die erste Fläche zerstreut wird. Th. Young's Erklärung ist ungemein kurz, und er hat mehr die Anwendung des grofsen damals neu-

1) *On the Theory of Light and Colours. Phil. Transact. f.* 1802, *p.* 41.

Digitized by Google

entdeckten Interferenzprincips auf die Erklärung des Phänomens gezeigt, als den Gegenstand in seinem Detail verfolgt. Aus der aufmerksamen Lesung seines Aufsatzes geht übrigens hervor, dafs wenigstens die rohen Umrisse der vollständigen Erklärung ihm deutlich vorschwebten.

Im Laufe eines Aufsatzes, betitelt: »Versuche zur Erforschung der Ursache der concentrischen Farbenringe welche Sir Isac Newton zwischen zwei auf einander gelegten Objectivgläsern entdeckte« erwähnt Sir William Herschel eines Versuchs, bei welchem Ringe von der Natur der dicken Platten blofs dadurch erzeugt wurden, dafs vor einem Metallspiegel, der wie der Spiegel bei Newton's Versuch aufgestellt war, Puder in der Luft verbreitet wurde [1]). Das Resultat dieses Versuchs wurde von Herschel mit Recht als unerklärbar nach der Theorie der Anwandlungen betrachtet. Es mag hier zugleich bemerkt seyn, dafs es mit der Undulationstheorie in vollem Einklange steht.

In den *Ann. de Chimie et de Physique T. I* (1816) *p.* 87 findet sich ein Bericht von Ampère und Poisson über eine Abhandlung von Pouillet, welche einige Versuche über die Ringe enthält. Die Versuche sind meistens dieselben wie die des Duc de Chaulnes, allein begleitet von Messungen. Hr. Pouillet fand, dafs Ringe entstehen, wenn man vor einem Metallspiegel einen opaken Schirm mit irgendwie gestalteter Oeffnung anbringt. Hiebei waren die Ringe rund, wie auch die Gestalt der Oeffnung seyn mochte. Die Versuche werden von Hrn. Pouillet in seinen *Elémens de Physique T. II. p.* 476 angeführt.

Eine vollständige Erklärung der Ringe, gemäfs der Undulationstheorie, ist von Sir John Herschel in seinem *Treatise on Light* gegeben [1]). Es wird angenommen, die Ringe seyen nach Newton's Weise mittelst eines Glasspiegels gebildet und der leuchtende Punkt liege in der Axe. Nach Untersuchung des elementaren Ringsystems,

1) *Philosoph. Transact. f.* 1807 *p.* 231.

2) *Encyclopaedia Metropolitana, Arts.* 676 *etc.*

Digitized by Google

welches erzeugt seyn würde durch die beiden Bündel, die beim Hin- und Rückgang den Durchschnittspunkt der vorderen Fläche mit der Axe schneiden und dabei zerstreut werden, zeigt Sir John Herschel, dafs, angenommen die Flächen seyen ein Paar concentrische, den Lichtpunkt zum Centrum habende Kugeln, die elementaren Systeme, welche den verschiedenen Elementen der Vorderfläche entsprechen, einander überdecken, in solcher Weise, dafs auf den, in der Entfernung des Lichtpunkts gehaltenen Schirm ein deutliches System geworfen werden würde. Die für die Ringe aus der Theorie hervorgehenden Gesetze waren genau die von Newton entdeckten und die berechneten Gröfsen stimmten fast genau mit Newton's Messungen.

Seitdem hat Dr. Whewell eine Reihe Farbenstreifen entdeckt, welche entstehen, wenn das an einem, einige Fufs entfernten, ebenen und belegten Glasspiegel reflectirte Bild einer nahe beim Auge gehaltenen Kerze betrachtet wird. Diese Beobachtung wurde Hrn. Quetelet mitgetheilt, welcher sie veröffentlichte [1]). Bei gemeinschaftlicher Wiederholung des Versuchs fanden Dr. Whewell und Hr. Quetelet, als wesentliche Bedingung für den Erfolg, dafs die Oberfläche nicht vollkommen glänzend sey, und dafs, um sich die Bildung der Streifen zu sichern, man nur einen kalten Spiegel sanft zu behauchen brauche. Statt des Hauchs, der bald verdampft, empfiehlt Hr. Quetelet einen Ueberzug von Fett [2]).

Zum Schlusse dieses geschichtlichen Abrisses des Gegenstandes mag es noch erlaubt seyn, Hrn. Dr. Lloyd meinen Dank abzustatten für seinen werthvollen Bericht über die physikalische Optik, welcher eine kurze Nachricht von allem bisher über den Gegenstand Bekannten enthält, begleitet mit Hinweisungen auf die Original-Aufsätze.

Meine Aufmerksamkeit wurde durch den Meister (*Master*) des *Trinity College* auf den Gegenstand hingelenkt; er zeigte mir die eben erwähnten Streifen, die er kurz darauf zur

1) *Correspondance mathématique et physique T. V.* (1829) *p.* 394.
2) *Ib. T. VI. p.* 69.

Digitized by Google

Kenntnifs dieser Gesellschaft brachte [1]). Es schien mir gleich anfangs, dafs diese Streifen von der Natur der Farbenringe dicker Platten seyen, so dafs die Theorie der ersteren nur ausgearbeitet zu werden brauche, da die der letzteren bekannt ist. Hätte ich einen Zweifel hieran gehabt, so würde er bald geschwunden seyn, als ich zur Anstellung von Versuchen schritt; denn bei zweckmäfsiger Abänderung der Versuche ergab sich unwiderleglich, dafs beide von gleicher Natur seyen.

Die entweder ebenen oder krummen Spiegel wurden in der folgenden Weise zubereitet, die ich Jedem, der die Versuche zu wiederholen wünscht, als leicht und wirksam empfehlen kann. Man gieſst ein Gemisch von drei oder vier Theilen Wasser und einem Theil Milch auf den horizontal gehaltenen Spiegel und läfst es sich auf demselben ausbreiten. Nun hält man ihn senkrecht vor einem Feuer, wodurch der gröfsere Theil des Gemisches abläuft und der Rückstand in zwei bis drei Minuten eintrocknet; dann ist der Spiegel zum Gebrauch fertig. Um das Mifslingen der Versuche über die Whewell'schen Streifen zu verhüten, will ich hier erwähnen, dafs, um sie ordentlich zu erblicken, das Bild der Flamme deutlich gesehen werden mufs, kurzsichtige Personen daher eine Lupe oder Brille nöthig haben.

Ein Hohlspiegel, mit Milch und Wasser zubereitet, pafst gut zur Anstellung von Newton's Versuch in dessen Weise oder vielmehr, wie bei den Versuchen des Duc de Chaulnes, mit Ersetzung des von Newton angewandten kleinen Loches durch das Sonnenbild im Brennpunkte einer convexen Linse. Der Versuch kann folgendermafsen abgeändert werden. Was für eine Erscheinung sich auf einem Schirme zeigen werde, kann man ohne Schirm wahrnehmen, wenn man die Strahlen direct mit dem Auge auffängt, und sich so stellt, dafs man einen Gegenstand in der Entfernung des Schirmes deutlich sieht. Um die Ringe, welche in Newton's Versuch auf einen Schirm geworfen

1) *Philosoph. Magaz. Apr.* 1851 *p.* 336.

Digitized by Google

werden, deutlich zu sehen, ist es also hinreichend eine kleine Flamme in solcher Stellung vor einen Spiegel zu bringen, dafs sie mit ihrem umgekehrten Bilde zusammenfällt; dann sieht man in der Luft ein merkwürdig schönes Ringsystem die Flamme umgebend. Nicht der wenigst merkwürdige Umstand bei diesen Ringen ist ihre scheinbare Körperlichkeit, da sie eine bestimmte Lage im Raum zu haben scheinen, wie ein wirklicher Gegenstand. Die auffallende und schöne Erscheinung, welche Newton in seiner 10. und 11. Beobachtung so genau beschreibt, kann in dieser Weise bei einer Seitenbewegung der Flamme gesehen werden. Durch gehörige Veränderung der Lagen der Flamme und des Auges, sowohl bei diesem Versuche als bei dem mit einem ebenen Spiegel, läfst sich, unabhängig von jeder Theorie, deutlich erkennen, dafs die in beiden Fällen gesehenen Ringe oder Streifen von gleicher Natur sind. Es ist überflüssig, hier die Mannigfaltigkeit der auftretenden Erscheinungen ausführlich zu beschreiben, da sie weiterhin, in Verbindung mit der Theorie, angeführt werden.

Der erste Abschnitt enthält die Theorie der nach Newton's Weise gebildeten Ringe. Die Untersuchung, obwohl in ihrem Gange etwas verschieden, ist im Princip dieselbe wie die von Sir John Herschel gegebene, doch etwas allgemeiner, in sofern als die Krümmung der beiden Flächen als irgend welche, und der leuchtende Punkt nicht als auf der Axe liegend angenommen wird. Ueberdiefs ist der Abstand dieses Punktes von der Axe zuerst als willkührlich vorausgesetzt, um zu untersuchen, unter was für Umständen die Ringe sich auf einem Schirm am deutlichsten bilden können.

Der zweite Abschnitt enthält die Theorie der durch einen ebenen Spiegel gebildeten Streifen oder Ringe. Der Ausdruck für die Verzögerung ist als ein besonderer Fall hergeleitet aus der im ersten Abschnitt gefundenen Formel; allein wegen des an diese Streifen sich knüpfenden Interesses und wegen der Einfachheit ihrer Theorie ist auch eine abgesonderte Untersuchung gegeben.

Digitized by Google

Die beiden nächsten Abschnitte sind Fällen von gröfserer Allgemeinheit und im Ganzen geringerem Interesse gewidmet; doch enthalten sie einige interessante Resultate. Die zwei letzten Abschnitte befassen sich mit einer näheren Untersuchung der Art, wie eigentlich die Erscheinungen entstehen.

Obwohl der vorliegende Aufsatz etwas lang ist, so darf doch der Leser nicht voraussetzen, dafs die Theorie der Ringe und Streifen sehr schwierig sey. Die Länge entspringt zum Theil aus dem Detail, in welchem der Gegenstand betrachtet worden ist, zum Theil aus der Allgemeinheit einiger der Untersuchungen, zum Theil aus der Beschreibung der die theoretischen Untersuchungen begleitenden Versuche.

Abschnitt I.

Ringe, geworfen auf einen Schirm durch einen Hohlspiegel, bestehend aus einer vorn getrübten und hinten mit Amalgam belegten Linse. Bedingung zur Deutlichkeit der Ringe, wenn sie auf einen Schirm geworfen sind, oder zur Festigkeit derselben, wenn sie in Luft betrachtet werden. Untersuchung der Erscheinungen, welche bei einer gegen die Axe des Spiegels winkelrechten Bewegung des Lichtpunkts entstehen.

Es liege ein Lichtpunkt L entweder in oder nicht weit von der Axe eines Spiegels wie der eben beschriebene; und es werde verlangt, zu erforschen, wie zwei Lichtbündel, von denen das eine an der Vorderfläche zerstreut, und dann regelmäfsig zurückgeworfen und gebrochen, das andere aber erst regelmäfsig gebrochen und zurückgeworfen, und dann beim Austritt zerstreut worden, den Punkt M eines Schirms beleuchten, wenn dieser Punkt nicht weit aus der Axe liegt. Der Spiegel sey bezogen auf die drei rechtwinklichen Axen von x, y, z, von denen die Axe der z die Axe des Spiegels sey, und der Anfangspunkt liege auf der vorderen oder getrübten Fläche. Sey r der Radius der vorderen Fläche, s der der hintern, t die Dicke

Digitized by Google

des Glases, und μ der Brechungsindex desselben; r und s mögen positiv seyn, wenn die Concavitäten beider Flächen in die Richtung der positiven z gewendet sind. Seyen a, b, c die Coordinaten von L; a', b', c' die von M, und seyen a, b, so wie a, b', klein im Vergleich mit c, c', r und s. Seyen x, y, z die Coordinaten irgend eines Punktes P auf der getrübten Fläche, R die Verzögerung des in P beim Austritt zerstreuten Strahls in Bezug auf den, welcher durch denselben Punkt eintritt. Seyen L_1, L_2, L_3 die Bilder von L respective nach Refraction, Reflexion und zweiter Refraction; ebenso M_1, M_2, M_3 die Bilder von M; bezeichnen a, b, c oder a', b', c' mit den Suffixen 1, 2, 3 die Coordinaten von L_1, L_2, L_3 oder M_1, M_2, M_3. Bei Annäherung an den Werth von R seyen die Quadrate der kleinen Gröfsen a, b, x, y etc. beibehalten, so dafs die vernachlässigten Glieder zur vierten Ordnung gehören, da alle Glieder von gerader Ordnung sind, wie man sogleich sehen wird.

2. Die von L aus divergirenden Strahlen können nach der Refraction als von L_1 aus divergirend angesehen werden, ungeachtet der sphärischen Aberration der directen Lichtbündel und des Astigmatismus der schiefen. Denn liege zuvörderst L in der Axe. Die Annahme, dafs die Strahlen von L_1 aus divergiren, ist aequivalent mit der, dafs die Vorderseite einer Welle eine Kugel sey, die L_1 zum Mittelpunkt habe, wogegen sie in Wirklichkeit eine Umdrehungsfläche ist von der Art, dafs L_1 das Krümmungscentrum eines Querschnitts ist, den eine durch die Axe gelegte Ebene macht. Diese Ebene scheidet die oben erwähnte Kugel in einem Kreise, welcher, als Krümmungskreis, keinen niedrigeren Contact mit der Curve haben kann als einen zweiter Ordnung. Allein der Contact ist wirklich einer von dritter Ordnung, weil Curve und Kreis sich berühren, ohne zu schneiden. Daher ist der Fehler welcher in der Berechnung von R aus der Annahme entspringt, dafs die Fronte der Welle eine Kugel sey, während sie in Wirklichkeit eine andere Fläche ist, nur eine

Digitized by Google

kleine Gröfse vierter Ordnung, und Gröfsen dieser Ordnung hält man für zu vernachlässigende.

Betrachten wir hierauf ein schiefes Bündel. Seyen L' und L'' die beiden Punkte der Axe des Bündels, welche die Krümmungscentra seiner Hauptschnitte sind. Haben L' und L'' von einander und von L_1 keinen kleinen Abstand, so wird die Front der Welle einen Contact erster Ordnung mit einer Kugel haben, die um L_1 mit einem solchen Radius beschrieben ist, dafs sie durch den Punkt geht, wo die Front von der Axe des Bündels geschnitten wird; und in diesem Fall wird der Fehler, den man begeht, wenn man die Kugel für die wirkliche Front nimmt, von zweiter Ordnung seyn. Allein L' und L'' liegen von L_1 in Abständen, die kleine Gröfsen zweiter Ordnung sind, und daraus erhellt leicht, dafs der wirkliche Fehler nur von vierter Ordnung ist.

3. Bezeichne $(L \text{ zu } L_3)$ die Verzögerung einer Welle, die von L nach L_3 geht, oder vielmehr, im Fall L_3 ein virtueller Brennpunkt ist, der Verzögerungs-Unterschied zweier Wellen, die von L und L_3 ausgehen und denselben gegebenen Punkt erreichen. Dann ist

$$R = (L \text{ zu } L_3) + PM - PL_3 - [(M \text{ zu } M_3) + PL - PM_3]$$
$$= K + V$$

wo

$$K = (L \text{ zu } L_3) - (M \text{ zu } M_3)$$
$$V = PM - PL_3 - (PL - PM_3)$$
$$= V' - V'', \text{ angenommen.}$$

Nach der Erklärung im vorhergehenden Artikel, bleibt, wenn P seine Lage ändert, K constant, mit dem Grade von Annäherung, welcher angewandt werden soll; allein der Werth von V hängt ab von der Lage von P. Wir haben:

$$PM = \sqrt{(a'-x)^2 + (b'-y)^2 + (c'-z)^2}$$
$$PL_3 = \sqrt{(a_3-x)^2 + (b_3-y)^2 + (c_3-z)^2}$$

und beinahe:

$$z = \frac{1}{2r}(x^2 + y^2).$$

Digitized by Google

Entwickelt, erhalten wir

$$V'=c'-\frac{1}{2r}(x^2+y^2)+\frac{1}{2c'}[(a'-x)^2+(b'-y)^2]-c_3$$
$$+\frac{1}{2r}(x^2+y^2)-\frac{1}{2c_3}[(a_3-x)^2+(b_3-y)^2].$$

Sey $V'=c'-c_3+V'_x+V'_y$, wo V'_x die Summe der a und x enthaltenden Glieder, und V'_y die Summe der b und y enthaltenden Glieder ist, so hat man

$$V'_x=\frac{(a'-x)^2}{2c'}-\frac{(a_3-x)^2}{2c_3}.$$

Wir brauchen nicht V'_y hinzuschreiben, da es sich aus V'_x ableitet, wenn wir b, y statt a, x setzen. Bezeichnet nun V_x für V, was V'_x für V' bezeichnet, so erhält man nach Vertauschung von a und a', a_3 und a'_3, und Subtraction:

$$V_x=\frac{(a'-x)^2}{2c'}-\frac{(a_3-x)^2}{2c_3}-\frac{(a-x)^2}{2c}+\frac{(a'_3-x)^2}{2c'_3} \quad . \quad (1).$$

Damit die Ringe sich mit voller Deutlichkeit auf einem Schirm bilden, ist erforderlich, dafs der Phasenunterschied der verschiedenen Bündelpaare (*pairs of streams*) die von verschiedenen Punkten der getrübten Oberfläche kommen, gleich sey, oder mit anderen Worten, dafs die Verzögerung R unabhängig von x und y sey. Abgesehen bei der gegenwärtigen Untersuchung von den Bedingungen der Deutlichkeit, kann man bemerken, dafs, wenn diese Bedingungen erfüllt sind, der Ausdruck für R derselbe seyn mufs, wie wenn x und y beide Null wären. Wir haben also:

$$R=[L,\ M]-[M,\ L]$$

wo

$$[L,\ M]=(L \text{ zu } L_3)+c'-c_3+\frac{e'^2}{2c'}-\frac{e_3^2}{2c_3}$$

und $[M,\ L]$ aus $[L,\ M]$ durch Vertauschung der Coordinaten von L und M gebildet wird. Im obigen Ausdruck ist Kürze halber e^2 statt a^2+b^2 geschrieben. Nimmt man nun c, c_1, c_2, c_3 sämmtlich als positiv, und bezeichnet mit A, B die Punkte, in welchen die vordere und hintere

Digitized by Google

Fläche respective durch die Axe des Spiegels geschnitten wird, so haben wir

$$(L \text{ zu } L_3) = AL - \mu AL_1 + \mu BL_1 + \mu BL_2 - \mu AL_2 + \mu AL_3 \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

was entwickelt giebt:

$$(L \text{ zu } L_3) = c + \frac{e^2}{2c} - \mu c_1 - \frac{\mu e_1^2}{2c_1} + \mu(c_2+t) + \frac{\mu e_1^2}{2(c_1+t)} + \mu(c_2+t) + \frac{\mu e_2^2}{2(c_2+t)} - \mu c_2 - \frac{\mu e_2^2}{2c_2} + c_3 + \frac{e_3^2}{2c_3}$$
$$= c + c_3 + 2\mu t + \frac{e^2}{2c} + \frac{e_3^2}{2c_3} - \frac{\mu t e_1^2}{2c_1(c_1+t)} - \frac{\mu t e_2^2}{2c_2(c_2+t)}.$$

Wir haben also:

$$R = \frac{\mu t}{2}\left\{\frac{e_1'^2}{c_1'(c_1'+t)} + \frac{e_2'^2}{c_2'(c_2'+t)} - \frac{e_1^2}{c_1(c_1+t)} - \frac{e_2^2}{c_2(c_2+t)}\right\} \ldots (3).$$

Obgleich diese Formel in der Voraussetzung erhalten wurde, dafs die Punkte L, L_1, L_2, L_3, M, M_1, M_2, M_3 auf der positiven Seite der Ebene der xy liegen, so ist sie doch unabhängig von dieser Einschränkung richtig. Denn wenn einer der Brennpunkte L, L_1, L_2, L_3 aus dem reellen Zustand virtuell, oder aus dem virtuellen Zustand reell wird, ändern die Ordinaten c, c_1, c_2+t, oder c_3 das Zeichen. Zugleich wird im Ausdruck für die Verzögerung *überschrittener Abstand* in *aufgesparten* verwandelt, und so umgekehrt. Folglich wird in einem Ausdruck wie (2) das Zeichen von einer oder mehren Linien verändert. Allein in der Entwicklung der Wurzelgröfse, durch welche die Länge einer solchen Linie ausgedrückt wird, mufs zugleich das Zeichen von c, c_1, c_2+t, oder c_3 verändert werden, und deshalb ist in den entwickelten Ausdrücken keine Aenderung erforderlich.

Um e_1 und e_2 aus (3) zu eliminiren, ist zu bemerken, dafs man nahe hat:

$$\frac{e_1}{e} = \frac{1}{\mu}\frac{c_1}{c}, \quad \frac{e_2}{e_1} = -\frac{c_2+t}{c_1+t}$$

und ähnliche Ausdrücke gelten für e' etc. Folglich

Digitized by Google

$$\left.\begin{aligned} R = \frac{e'^2 t}{2\mu c'^2} \cdot \frac{c'_1}{c'_1+t}\left(1+\frac{c'_1}{c'_1+t}\cdot\frac{c'_2+t}{c'_2}\right) \\ -\frac{e^2 t}{2\mu c^2}\cdot\frac{c_1}{c_1+t}\left(1+\frac{c_1}{c_1+t}\cdot\frac{c_2+t}{c_2}\right)\end{aligned}\right\} \quad \ldots (4).$$

Erforderlichenfalls könnten wir, mittelst der Formeln der gemeinen Optik, c_1 und c_2 in Gliedern von c ausdrücken, ohne für die Gröfse von t irgend eine Voraussetzung zu machen. In Praxis ist jedoch t gewöhnlich klein gegen c, c_1 u. s. w., so dafs wir den obigen Ausdruck vereinfachen können, wenn wir blofs die erste Potenz von t beibehalten. So bekommen wir

$$R = \frac{t}{\mu}\left(\frac{e'^2}{c'^2} - \frac{e^2}{c^2}\right) = \frac{t}{\mu}\left(\frac{a'^2+b'^2}{c'^2} - \frac{a^2+b^2}{c^2}\right) \quad \ldots (5).$$

4. Ehe wir zur Anwendung dieses Ausdrucks schreiten, wollen wir die Bedingungen der Deutlichkeit aufsuchen. Bezeichnen wir mit $\Delta_x R$, $\Delta_y R$ die Zusätze zu R wegen der Glieder, die x und y einschliefsen, so bekommen wir aus (1)

$$\left.\begin{aligned} \Delta_x R = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{c'}+\frac{1}{c'_3}\right)x^2 - \left(\frac{a'}{c'}+\frac{a'_3}{c'_3}\right)x \\ -\left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{c}+\frac{1}{c_3}\right)x^2 - \left(\frac{a}{c}+\frac{a_3}{c_3}\right)\right]x\end{aligned}\right\} \quad \ldots (6)$$

und $\Delta_y R$ wird durch Vertauschung von a und b, x und y erhalten.

Durch die Formeln der gemeinen Optik haben wir

$$\left.\begin{aligned} \frac{\mu}{c_1} = \frac{\mu-1}{r} + \frac{1}{c}; \quad \frac{1}{c_2+t} = \frac{2}{s} - \frac{1}{c_1+t}; \\ \frac{\mu}{c_2} = \frac{\mu-1}{r} + \frac{1}{c_3}\end{aligned}\right\} \quad \ldots (7)$$

woraus wir, t als klein angesehen, durch Entwicklung bis zur ersten Potenz von t, wenn Kürze halber gesetzt wird:

$$\frac{\mu}{s} - \frac{\mu-1}{r} = \frac{1}{s} - (\mu-1)\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{s}\right) = \frac{1}{\varrho} \quad \ldots (8)$$

so dafs ϱ der Radius eines Spiegels (*speculum*) ist, der gleiche Brennweite wie der Spiegel (*mirror*) hat, erhalten:

$$\frac{1}{c}+\frac{1}{c_3} = \frac{2}{\varrho} + \frac{2t}{\mu}\left\{\frac{2}{\varrho^2} + \frac{2(\mu-1)}{\varrho r} + \frac{(\mu-1)^2}{r^2} - \frac{2}{\varrho c} + \frac{1}{c^2}\right\}$$

Digitized by Google

und deshalb

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{c'}+\frac{1}{c'_3}-\frac{1}{c}-\frac{1}{c_3}\right)=\frac{t}{\mu}\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{c'}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right) \quad . \quad . \quad (9).$$

Ferner

$$a_1=\frac{a}{\mu}\frac{c_1}{c}; \quad a_2=-a_1\frac{c_2+t}{c_1+t}; \quad a_3=\mu a_2\frac{c_3}{c_2}$$

woraus

$$\frac{a}{c}+\frac{a_3}{c_3}=\frac{a}{c}\left\{1-\frac{c_1(c_2+t)}{c_2(c_1+t)}\right\}=\frac{at}{c}\left(\frac{1}{c_1}-\frac{1}{c_2}\right) \text{ nahe.}$$

Vernachlässigt man t gänzlich in den Formeln (7), so kommt:

$$\frac{1}{c_1}-\frac{1}{c_2}=\frac{2}{\mu}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)$$

und deshalb

$$\frac{a'}{c'}+\frac{a'_3}{c'_3}-\frac{a}{c}-\frac{a_3}{c_3}=\frac{2t}{\mu}\left[\frac{a'}{c'}\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{a}{c}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)\right] \quad (10).$$

Sey $\Delta_1 R+\Delta_2 R=\Delta R$. Die Formeln (6), (9), (10) und die entsprechenden, sich auf $\Delta_2^1 R$ beziehenden Formeln geben:

$$\left.\begin{aligned}\Delta R=&\frac{t}{\mu}\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{c'}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)(x^2+y^2)\\&-\frac{2t}{\mu}\left[\frac{1}{c'}\left(\frac{1}{c'}-\frac{1}{\varrho}\right)(a'x+b'y)-\frac{1}{c}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)(ax+by)\right]\end{aligned}\right\} \quad (11).$$

Die Bedingung der Deutlichkeit ist, wie schon bemerkt worden, die, dafs ΔR verschwinde unabhängig von x und y, in welchem Fall die elementaren Ringsysteme, die den verschiedenen Elementen der getrübten Fläche entsprechen, einander auf dem Schirme überdecken. Die Coëfficienten von x^2+y^2 verschwinden, wenn einer der folgenden Gleichungen genügt ist:

$$c'=c \text{ oder } \frac{1}{c'}+\frac{1}{c}=\frac{2}{\varrho} \quad . \quad . \quad . \quad (12).$$

Damit die Coëfficienten von x und y unabhängig von besonderen Werthen von a' und b' verschwinden können, mufs man haben

$$c'=c=\varrho \quad . \quad . \quad . \quad (13),$$

welche Gleichungen zugleich den beiden Gleichungen (12)

Digitized by Google

genügen, von denen blofs einer genügt zu seyn brauchte. Folglich werden die Ringe am deutlichsten gebildet, wenn beide, der Lichtpunkt und der Schirm, vom Spiegel einen Abstand haben gleich dem der coïncidirenden conjugirten Brennpunkte. Diefs stimmt mit der Beobachtung überein [1]).

Für jegliche Lage der Zeile, wenn a', b', c', die Coordinaten seines Bildes sind, haben wir

$$\frac{a'}{c'} = -\frac{a}{c}, \quad \frac{b'}{c'} = -\frac{b}{c}$$

und die zweite Zeile in dem Ausdruck für ΔR wird:

$$\frac{2t}{\mu c}\left(\frac{1}{c'} + \frac{1}{c} - \frac{2}{\varrho}\right)(ax + by),$$

welche verschwindet, da c' der zweiten der Gleichungen (12) genügt. Wird ein Schirm winkelrecht gegen die Axe des Spiegels gehalten, in solchem Abstand, dafs er ein deutliches Bild von dem Lichtpunkt empfängt, und bezeichnen nun a', b', c', die Coordinaten, nicht des Bildes selbst, sondern eines dem Bilde sehr nahen Punkts auf dem Schirm, so wird der Theil von ΔR, welcher die Quadrate von x und y einschliefst, noch verschwinden, in sofern c' dasselbe bleibt wie zuvor, und der Theil, welcher die ersten Potenzen enthält, obgleich nicht absolut verschwindend, wird sehr klein werden; und deshalb wird ein Stück des Ringsystems in der Nachbarschaft des Bildes deutlich gebildet seyn.

5. Diefs stimmt mit der Beobachtung. Bei Wiederholung des Newton'schen Versuchs in dieser Weise, ausgenommen, dafs, statt des kleinen Loches, eine Linse mit kurzem Brennpunkte angewandt, und die Oberfläche des

1) Siehe Newton's *Optics, Book II, Pt. IV. Obs. I.* für den Fall, wo die Krümmungen beider Flächen gleich sind, und einen Versuch des Duc de Chaulnes (*Mém. de l'Acad.* 1755 *p.* 141) für den Fall, in welchem sie ungleich sind. Bei diesem Versuche wurde eine planconvexe Linse angewandt. Jede Fläche wurde nach einander getrübt und dem einfallenden Lichte zugekehrt. Aus einer Stelle am Ende seiner 12. Beobachtung geht hervor, dafs Newton selbst einen ähnlichen Versuch machte; die Resultate desselben sind jedoch nicht beschrieben worden.

Digitized by Google

Glases eigends mit Milch und Wasser getrübt worden war, fand ich, wenn der Spiegel in einem von seinem Krümmungsradius sehr verschiedenen Abstand vom Lichtpunkt aufgestellt und ein wenig geneigt wurde, um das Bild eines Stück Papiers aufzunehmen, ohne das einfallende Licht aufzufangen, dabei das Papier in solchem Abstande vom Spiegel gehalten, dafs es ein deutliches Bild vom Lichtpunkt empfing, — das Bild von sehr deutlichen Ringbögen begleitet.

Welche Erscheinungen sich auf einem Schirme zeigen werden, kann man ohne Schirm sehen, wenn man das Auge so aufstellt, dafs es die Strahlen auffängt und einen Gegenstand in der Entfernung des Schirms bei dessen früherer Lage deutlich sehen würde. Allgemein findet man, dafs das Bild des Lichtpunkts, wenn es deutlich gesehen wird, begleitet ist von einem mehr oder weniger ausgedehnten Stücke eines Systems von farbigen Ringen oder Streifen. In dieser Weise kann man die Ringe sehen, wenn das Bild virtuell ist, in welchem Fall sie natürlich nicht auf einem Schirm geworfen werden können.

Bei dem in der Einleitung beschriebenen Versuch, wobei eine kleine Flamme in solchem Abstande aufgestellt wird, dafs sie mit ihrem umgekehrten Bilde zusammenfällt, sind, bei directer Betrachtung derselben, die gesehenen Ringe merkwürdig wegen ihrer Festigkeit; sie erscheinen als ein körperlicher Gegenstand rings um die Flamme und haben eine bestimmte Parallaxe, sowohl nach der Bewegung des Kopfes, als auch der Convergenz der Axen beider Augen geurtheilt. Dasselbe gilt von dem Ringsystem, welches sich bildet, wenn die Flamme seitwärts aus der eben erwähnten Lage bewegt wird. Der Grund der Festigkeit ist, dafs, sofern die Verzögerung unabhängig ist von x und y, ein gegebener Punkt einer eingebildeten, durch die Flamme, winkelrecht gegen die Axe gelegten Ebene zu einem Ringe einer und derselben Ordnung gehört, was auch der Punkt des Spiegels seyn möge, gegen welchen er projicirt gesehen wird.

6.

Digitized by Google

6. Haben wir nun die Bedingungen der Deutlichkeit erforscht, wollen wir zur Betrachtung der Gröfse und des Charakters der Ringe übergehen, dabei annehmend, der Lichtpunkt liege im Abstand ϱ vom Spiegel, und die Ringe seyen in demselben Abstand auf einen Schirm geworfen, oder auch in der Luft betrachtet. In diesem Falle ist $c=c'=\varrho$ und, wenn der Lichtpunkt in der Axe liegt, $e=0$, wodurch (5) sich reducirt auf

$$R=\frac{te'^2}{\mu c^2} \quad \ldots \quad (14).$$

Aus diesem Ausdruck folgt leicht, dafs sich ein Ringsystem bildet ähnlich den durchgelassenen Ringen desjenigen Systems, welchem speciell der Name Newton's untergelegt wird. Im gegenwärtigen Falle sind jedoch die Ringe, besonders wenn sie in Luft betrachtet werden, weit glänzender und in dieser Beziehung mehr dem reflectirten Systeme ähnlich. Ist e_1 der Radius des ersten hellen Ringes, für welchen $R=\lambda$, der Länge einer Lichtwelle, so ist

$$e_1=\sqrt{\frac{\mu\lambda}{t}}.c$$

und für den hellen Ring der n' Ordnung $e'=\sqrt{n}.e_1$. Die Formel (14) ist schon von Sir John Herschel discutirt und mit Newton's Messungen verglichen, an welche sie sich auch sehr nahe anschliefst.

Mit weifsem Lichte sieht man nur eine mäfsige Anzahl von Ringen, weil die Variation der Scale des Systems abhängt von einer Variation in der Brechbarkeit der Bestandtheile des weifsen Lichts. Als die Ringe in der Luft gebildet wurden und die Lichtquelle die Flamme einer Oellampe mit kleinem Docht war, zählte ich deren ringsum einen hellen centralen Fleck sieben bis acht. Betrachtet man aber das System durch ein Prisma oder wendet man die Flamme einer Weingeistlampe an, so erblickt man eine unermefsliche Zahl von Ringen.

7. Gesetzt nun, der Lichtpunkt liege aufserhalb der Axe. Aus der Formel (5) ersehen wir, dafs die Verzögerung jetzt Null ist, nicht in der Axe, sondern auf einem

Digitized by Google

Kreise, dessen Radius e' gleich e ist. Folglich ist die *achromatische Linie* [1]) des Systems, welche früher auf einen Punkt reducirt war, jetzt ein Kreis, der seinen Mittelpunkt in der Axe hat, und durch den Lichtpunkt und dessen Bild geht, welche auf entgegengesetzten Enden eines Durchmessers liegen. Die Fransen erster Ordnung bilden ein Paar Kreise, die ihren Mittelpunkt in der Axe haben, und von denen der eine inseits, und der andere ausseits der centralen Franse liegt. Die Fransen zweiter Ordnung bilden wiederum ein Paar Kreise, von denen der eine ausseits der gröfseren, und der andere inseits der kleineren Franse erster Ordnung liegt, und so fort. Es ist jedoch zu bemerken, dafs inseits der centralen weifsen Franse nur eine begränzte Zahl von Fransen gebildet wird. Bezeichnet man den Werth von R, für $e'=0$, durch $-n_0\lambda$, so wird n_0 eine numerische Gröfse, eine Function von λ, welche die Anzahl der zum Lichte von der Wellenlänge λ gehörigen und inseits der centralen weifsen Franse gebildeten Fransen und deren Bruchtheile bestimmt. Den Werth von n_0 erhält man aus der Gleichung (5), wenn man $e'=0$ setzt, was giebt:

$$n_0 = \frac{te^2}{\mu\lambda c^2}.$$

Wird weifses Licht gebraucht und übersteigt n_0 etwa die Zahl 8 für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, so sind alle Fransen, welche das Uebergreifen der verschiedenen Farben zu sehen erlaubt, sowohl inseits als ausseits der centralen weifsen Franse gebildet; und wenn der Lichtpunkt noch weiter von der Axe abgerückt wird, erscheint ein Theil des Gesichtsfeldes rings um die Axe frei von Ringen. Bezeichnet man den Radius der centralen weifsen Franse oder, was dasselbe ist, den Abstand des Lichtspunkts von der Axe mit γn_0, so werden die Radien der hellen Ringe erster, zweiter, ... Ordnung, nach derselben Scale, bezeichnet mit $\gamma\sqrt{n_0 \pm 1}$, $\gamma\sqrt{n_0 \pm 2}$, u. s. w., und die der dunklen Ringe mit $\gamma\sqrt{n_0 \pm \frac{1}{2}}$, $\gamma\sqrt{n_0 \pm \frac{3}{2}}$, u. s. w.

1) Ich gebrauche diesen Ausdruck, um den Ort der Punkte zu bezeichnen, für welche die Verzögerung Null ist; er bildet eine Curve, auf deren beiden Seiten die Farben in abnehmender Ordnung auf einander folgen.

Digitized by Google

Die Art, in welcher die Ringe sich, vom Centrum aus, öffnen, so wie der Lichtpunkt seitwärts aus der Axe gerückt wird, ist sehr auffallend, und von Newton genau beschrieben. Die Erklärung davon ist einleuchtend. Es mag bemerkt seyn, dafs das Ringsystem, betrachtet als unbegränzt, nach gleicher Scale gebildet ist, was für einen Abstand von der Axe der Lichtpunkt auch haben mag, dafs aber die Portion des unbegränzten Systems, welche wegen voller oder angenäherter Coïncidenz der den verschiedenen Farben entsprechenden Maxima und Minima von Intensität allein sichtbar ist, ganz von diesem Abstande abhängt. Da beim Uebergange von der inneren zur äufseren Gränze einer gegebenen Franse das Quadrat des Radius einen gegebenen Anwuchs erfährt, so folgt, dafs das Areal der Franse constant ist, d. h. unabhängig von dem senkrechten Abstand des Lichtpunkts von der Axe. Folglich nimmt die Breite der Franse beständig ab, so wie der Durchmesser des Kreises, der die Gränze bildet, zunimmt. Gebraucht man als Lichtquelle eine kleine Flamme und rückt sie seitwärts aus der Axe, so werden die Fransen bald verwaschen, weil eine Flamme wohl sehr gut ist, um die nahe der Axe gesehenen breiten Fransen von verhältnifsmäfsig kleinem Radius zu bilden, sich aber nicht eignet für die feinen Fransen von grofsem Radius, welche in einiger Entfernung von der Axe enstehen. Als ich aber das im Brennpunkt eines kleinen zu einem mikroskopischen Apparat gehörigen, Hohlspiegels entstandene Sonnenbild als Lichtquelle anwandte, fand ich, dafs die Ringe ganz deutlich gebildet wurden, selbst wenn ihre Durchmesser sehr grofs, und folglich ihre Breiten sehr klein waren.

Abschnitt II.

Streifen, gebildet durch einen ebenen Spiegel und direct mit dem Auge betrachtet.

8. Für einen Planspiegel ist $\varrho = \infty$, und wenn R die Verzögerung des beim Austritt zerstreuten Bündels gegen den beim Eintritt zerstreuten ist, wird R durch Addition der

Digitized by Google

zweiten Glieder der Gleichungen (5) und (11) erhalten. Wir haben also:

$$R=\frac{t}{\mu}\left[\frac{1}{c'^2}\left\{(x-a')^2+(y-b')^2\right\}-\frac{1}{c^2}\left\{(x-a)^2+(y-b)^2\right\}\right] \quad (15).$$

Man mufs sich erinnern, dafs in diesen Formeln a, b, c die Coordinaten des Lichtpunkts bezeichnen, x, y die eines Punkts der getrübten Fläche, a', b', c' die eines Punktes im Raume, auf welchen das Auge gerichtet ist, so ajustirt, dafs es ihn deutlich sieht; dafs ferner diese Formel nur eine angenäherte ist und die Annäherung abhängt, sowohl von der Kleinheit der Schiefe, als auch von der Kleinheit der Dicke t des Glases, verglichen mit dem Abstande des Lichtpunkts und des Punkts M vom Spiegel.

Betreffend die Beleuchtung an einem gegebenen Punkt M, so geht uns offenbar von der getrübten Fläche nur so viel an als innerhalb eines Kegels liegt, der M zum Scheitel und die Pupille des Auges zur Grundfläche hat; und die Streifen werden deutlich sichtbar seyn, sobald R sich nur um einen kleinen Bruchtheil von λ ändert, wenn x, y von einem Punkt zu einem anderen der innerhalb jenes Kegels liegenden Portion der getrübten Fläche übergehen. Nun haben wir bereits gefunden, dafs die Streifen allemal in der Nähe des Bildes deutlich gesehen werden, wenn das Bild selbst deutlich sichtbar ist, so dafs, wenn das Bild reell ist, die Streifen sogar auf einen Schirm geworfen werden können, in welchem Falle eine verhältnifsmäfsig grofse Portion der getrübten Fläche an deren Bildung betheiligt ist. Daraus können wir im gegenwärtigen Falle schliefsen, dafs die Streifen durchweg mit hinlänglicher Deutlichkeit gesehen werden können, sobald der Lichtpunkt selbst deutlich sichtbar ist.

9. In Betreff der Deutlichkeit oder Undeutlichkeit der Streifen haben wir es mit der begränzten Gröfse der Pupille zu thun; untersuchen wir aber blofs ihre Form und Gröfse, so können wir die Pupille als einen Punkt und jedes in dieselbe eintretende Bündel als einen einfachen die Axe bildenden Strahl betrachten. Sey E das Auge

Digitized by Google

oder vielmehr das Centrum der Pupille, h sein senkrechter Abstand vom Spiegel und gehe die Axe der z durch E. Der Strahl, durch welchen ein Stück eines Streifens als in M befindlich gesehen wird, schneidet den Spiegel in einem Punkt, dessen Coordinaten x, y gleich sind a', b', verändert im Verhältnifs h zu $h-c'$, so dafs

$$a' = \left(1 - \frac{c'}{h}\right)x, \quad b' = \left(1 - \frac{c'}{h}\right)y$$

Diefs in (15) substituirend, erhalten wir:

$$R = \frac{t}{\mu}\left[\frac{1}{h^2}(x^2+y^2) - \frac{1}{c^2}\left\{(x-a)^2+(y-b)^2\right\}\right] \quad (16),$$

woraus erhellt, dafs c' verschwunden ist, wie es offenbar seyn mufs. Der Ausdruck (16) hätte auf einmal aus (15) abgeleitet werden können, wenn man die Coordinaten des Auges statt a', b', c' setzte. Der Grund hiervon ist klar, weil die Verzögerung constant ist für denselben Strahl, und ein Strahl durch die Lage irgend zweier Punkte, die er durchneidet, definirt werden kann. Wir können daher zur Definition des Strahls die Punkte E und P statt M und P anwenden, und zugleich die Coordinaten von E statt der von M in dem Ausdruck für die Verzögerung substituiren.

10. Um die Gestalten u. s. w. der Streifen zu bestimmen, ist nichts weiter nöthig, als die Formel (16) zu discutiren. Da diese Formel indefs als besonderer Fall aus einer sehr allgemeinen und deshalb etwas complicirten Untersuchung erhalten ward, bei welchen die Krümmungen der Flächen als irgend welche vorausgesetzt wurden, auch diese Streifen ein grofses Interesse haben, so wird der Leser eine specielle Untersuchung der Formel für den Fall eines Planspiegels nicht ungern sehen.

Behalten wir die frühere Bezeichnung bei, wo nicht das Gegentheil gesagt wird. Seyen L_0, E_0 die Fufspunkte der Perpendikel, gefällt von L, E auf die Ebene der getrübten Fläche, und sey $L_0P = s$, $E_0P = u$. Bezeichne R_1 die Verzögerung eines regulär gebrochenen und reflectirten Strahls, der beim Austritt in P zerstreut wird und

Digitized by Google

so E erreicht; R_2 die Verzögerung eines Strahls, der E erreicht, nachdem er in P beim Eintritt in das Glas zerstreut worden; und sey $R_1 - R_2 = R$. Sey $LSTPE$ die Bahn des ersten Strahls, welcher von L ausgeht, in S regelmäfsig gebrochen, in T zurückgeworfen und beim Austritt in P zerstreut wird. Die Linien LS, ST, TP werden offenbar in der Ebene LL_0P liegen. Seyen φ, φ' die Winkel des Einfalls und der Refraction bei S. Dann haben wir

$$R_1 = LS + 2\mu ST + PE$$
$$= c\sec\varphi + 2\mu t\sec\varphi' + \sqrt{h^2+u^2} \quad \ldots \quad (17)$$

und

$$c\tang\varphi + 2t\tang\varphi' = s, \quad \sin\varphi = \mu\sin\varphi' \quad (18).$$

Die Schiefe als klein vorausgesetzt, brauchen wir bei der Entwicklung nur die Quadrate der kleinen Gröfsen beizubehalten, so dafs die vernachlässigten Glieder nur vierte und höhere Potenzen einschliefsen. So erhalten wir zunächst aus (17)

$$R_1 = c + 2\mu t + h + \tfrac{1}{2}\left(c\varphi^2 + 2\mu t\varphi'^2 + \frac{u^2}{h}\right) \quad (19).$$

Allein die Gleichungen (18) geben:

$$\varphi = \mu\varphi' = \frac{\mu s}{\mu c + 2t}$$

und diefs in (19) substituirend, erhalten wir:

$$R_1 = c + 2\mu t + h + \frac{\mu s^2}{2(\mu c + 2t)} + \frac{u^2}{2h}.$$

Um R_2 zu erhalten, reicht es hin, c und h, s und u zu vertauschen, weil, wenn wir die Bahn des Strahls als umgekehrt annehmen, derselbe von E ausgehen, regelmäfsig gebrochen und zurückgeworfen, dann beim Austritte in P zerstreut und so in L ankommen würde. Durch Vertauschen, Subtrahiren und Reduciren erhalten wir:

$$R = t\left[\frac{u^2}{h(\mu h + 2t)} - \frac{s^2}{c(\mu c + 2t)}\right] \quad \ldots \quad (20).$$

Diese Formel ist allgemeiner als (16), weil noch keine Annäherung rücksichtlich der Gröfse t gemacht ist. In Praxis ist jedoch t wirklich klein, verglichen mit c und h

Digitized by Google

so dafs wir die Formel vereinfachen können, wenn wir nur die erste Potenz von t beibehalten, was (20) auf (16) reducirt, in sofern

$$u^2 = x^2 + y^2 \text{ und } s^2 = (x-a)^2 + (y-b)^2$$

11. Schreiten wir jetzt zur Anwendung der Formel (16) auf die Erklärung der Phänomene. Bei Erörterung dieser Formel hat man sich zu erinnern, dafs x, y die Coordinaten des Punktes am Spiegel sind, auf welchen man eine Franse projicirt sieht. Da die Richtung der Axe der y beliebig ist, so können wir die Ebene der y, z durch den Lichtpunkt legen, wo dann $b=0$ wird und:

$$R = \frac{t}{\mu}\left[\left(\frac{1}{h^2} - \frac{1}{c^2}\right)(x^2+y^2) + \frac{2ax}{c^2} - \frac{a^2}{c^2}\right] \quad (21).$$

Für eine gegebene Franse ist R constant. Folglich bilden die Fransen ein System von concentrischen Kreisen, dessen Mittelpunkt in der Axe der x liegt. Ist α die Abscisse des Centrums, so hat man:

$$\alpha = \frac{ah^2}{h^2-c^2} = \tfrac{1}{2}\left(\frac{ah}{h+c} + \frac{ah}{h-c}\right) \quad . \quad (22).$$

Nun sind $ah(h-c)^{-1}$ und $ah(h+c)^{-1}$ die Abscissen der Punkte, in welchen die Spiegelebene geschnitten wird von zwei Linien, gezogen durch das Auge, die eine zu dem Lichtpunkt, und die andere zu seinem Bilde. Wir haben also folgende Construction: Man verbinde das Auge mit dem Lichtpunkt und dessen Bilde, und verlängere die erstere Linie bis zum Spiegel. Der Mittelpunkt der Verbindungslinie der beiden Punkte, in welchen der Spiegel durch die beiden vom Auge gezogenen Linien geschnitten wird, ist das Centrum des Systems.

Liegt also der Lichtpunkt rechts von dem aus dem Auge auf die Spiegelebene gefällten Perpendikel und zwischen dem Spiegel und dem Auge, so wird die Concavität der Fransen nach der Rechten gewandt seyn. Wird der Lichtpunkt, obwohl noch auf der Rechten bleibend, zurückgeschoben, so dafs er neben das Auge, und zuletzt hinter dasselbe zu liegen kommt, so wird die Krümmung der Fransen erstlich abnehmen, dann in Geradheit übergehen,

Digitized by Google

nun in entgegengesetzter Richtung wachsen, so dafs jetzt die Convexität nach der Rechten gewandt ist. Diefs stimmt mit der Beobachtung.

12. Der Ausdruck für R zeigt, dafs der Kreis, welcher die achromatische Linie des Systems bildet, durch die beiden, im vorletzten Paragraph erwähnten Punkte geht. Diefs erweist sich im Versuch, so weit es das Bild betrifft, immer als richtig, und, in Bezug auf den Lichtpunkt, auch, so lange er vor dem Auge liegt, so dafs er längs mit den Fransen gesehen wird, vorausgesetzt die Fransen reichen so weit.

Bezeichnet man mit $n_0\lambda$ den Werth von R im Centrum des Kreissystems, positiv genommen, so erhalten wir aus (21) und (22)

$$n_0 = \frac{a^2 t}{\mu\lambda(h^2-c^2)} \quad \ldots \quad (23).$$

Die numerische Gröfse n_0 kann zweckmäfsig die *Central-Ordnerinn* heifsen, weil, wenn sie zwischen $i-\frac{1}{2}$ und $i+\frac{1}{2}$ liegt, wo i irgend eine ganze Zahl ist, die Farbe des Centrums zum hellen Ringe i^{ter} Klasse gehört. Ist v der Radius der centralen Franse, so wird v gleich seyn der halben Differenz der Gröfsen $ah(h+c)^{-1}$ und $ah(a-c)^{-1}$ woraus

$$v = \frac{ach}{h^2-c^2} \quad \ldots \quad (24).$$

Nachdem das Centrum des Ringsystems und die Projection des Bildes d. h. der Punkt, wo die das Auge und das Bild verbindende Linie den Spiegel schneidet, gefunden worden, beschreibe man einen Kreis, der durch diese Projection geht. Dieser wird die Centrallinie der hellen Franse 0ter Ordnung, und ihr Radius gleich v seyn. Nun beschreibe man ein Paar Kreise, deren Radien sich zu v verhalten wie $\sqrt{n_0 \pm 1}$ zu $\sqrt{n_0}$. Diefs sind die Centrallinien der beiden hellen Fransen erster Ordnung für die besondere Farbe, auf welche sich der angenommene Werth von λ bezieht. Die Centrallinie der beiden hellen Fransen zweiter Ordnung werden ein Paar Kreise seyn mit Radien pro-

Digitized by Google

portional zu $\sqrt{n_0 \pm 2}$, und so fort. Die Fransen werden breiter an der concaven, als an der convexen Seite der centralen weifsen Franse seyn. Wenn die Fransen gerade werden, wird n_0 unendlich, und das System wird in Bezug auf die centrale Franse symmetrisch. Diefs stimmt mit der Beobachtung.

13. Liegt der Lichtpunkt auf einer Linie gezogen durch das Auge senkrecht zu dem Spiegel, so ist $a=0$, und man hat einfach:

$$R=\frac{(c^2-h^2)t}{\mu c^2 h^2}(x^2+y^2).$$

In diesem Fall ist die achromatische Linie des Systems auf einen Punkt reducirt und die Ringe sind in jeder Hinsicht dem durchgelassenen Ringsysteme Newton's ähnlich. Für den hellen Ring der ersten Ordnung ist $R=\pm\lambda$ und deshalb der Radius des Ringes gleich

$$\frac{ch\sqrt{\mu\lambda}}{\sqrt{(c^2-h^2)t}}$$

was unendlich wird, wenn $c=h$. Wenn folglich der Lichtpunkt erst vor dem Auge liegt, und nun angenommen wird, er bewege sich rückwärts durch das Auge bis er hinter demselben liege, so werden die Ringe sich bis ins Unendliche ausdehnen, verschwinden und wieder erscheinen, wenn der Lichtpunkt durch das Auge gegangen ist.

14. Alle obigen Schlüsse stimmen vollkommen mit der Erfahrung, wenigstens qualitativ, denn Messungen habe ich nicht gemacht. Den Wechsel in der Richtung der Krümmung, welchen ich erst gesehen, nachdem er durch die Formel aufgefunden worden, kann man leicht wahrnehmen, wenn man eine Kerzenflamme als Lichtquelle anwendet, sie ungefähr in Armslänge vor dem Auge hält, doch etwas rechts, sie nun zur Seite des Auges zurückzieht und endlich in Armslänge hinter dem Kopfe hält, und zwar so nahe in einer durch das Auge senkrecht auf den Spiegel gezogenen Linie, als es der Schatten des Kopfes erlauben will.

Digitized by Google

Wird die Kerze dem Auge nahe gehalten, so kann nur ein Theil der Kreise gesehen werden; in der That sind die Kreise auf Kreisbögen reducirt, und diese Bögen können sogar ganz gerade werden. Allein wenn die Kerze in guter Entfernung vom Auge ist, z. B. auf halbem Wege zwischen dem Auge und Spiegel; und man hält ein kleines Kartenstück als Schirm vor die Kerze, um den Schein des directen Lichts fortzunehmen, so werden die Kreise, oder wenigstens mehre von ihnen, vollständig sichtbar, ausgenommen, dafs es der Einbildung überlassen bleiben mufs, das von dem Schirm verdeckte Stück zu ergänzen. Auf diese Art läfst sich auch die Weise beobachten, in welcher sich die Ringe von dem Mittelpunkte der Kreise aus öffnen, obwohl nicht beim ersten oder zweiten Ring, weil diese sich öffnen, während das Centrum durch den Schirm verdeckt ist. Statt einer Kerze mit einem Schirm ist es besser das Sonnenbild im Brennpunkt eines kleinen convexen oder concaven Spiegels anzuwenden.

15. Der aus der Theorie abgeleitete Schlufs, dessen im §. 13 erwähnt wurde, kann natürlich nicht direct mit dem Versuch verglichen werden. Allein der Versuch kann mit Erfolg angestellt werden, wenn man entweder den Lichtpunkt oder das Auge durch ein virtuelles Bild ersetzt. Ich benutzte als Lichtpunkt das Sonnenbild im Brennpunkte eines kleinen Hohlspiegels im Abstande von einigen Fufsen vor einem Planspiegel, dessen Oberfläche mit Milch und Wasser zubereitet worden, und stellte zwischen den Spiegeln ein Stück Tafelglas auf, geneigt unter einem Winkel von etwa 45°. Der gröfsere Theil des vom Sonnenbilde kommenden Lichtes wurde vom Tafelglase durchgelassen, und bei seiner Rückkehr von dem grofsen Spiegel wurde eine Portion dieses Lichtes seitwärts reflectirt, so dafs die Ringe durch Reflexion auf der Glasplatte gesehen werden konnten, ohne das einfallende Licht abzuhalten. Das hiedurch gesehene Ringsystem war sehr schön; es kam kein directer Lichtschein in das Auge, und dennoch ver-

Digitized by Google

deckte kein Schirm irgend einen Theil des Systems. Es war leicht zu erkennen, wann das Bild des Auges auf der geneigten Platte in einer durch den Lichtpunkt winkelrecht auf den Planspiegel gezogenen Linie lag, indem man beobachtete, wann das durch Reflexion, erst an dem Planspiegel, dann an der Glasplatte, gesehene Bild des Lichtpunkts im Centrum des Ringsystems lag. Als bei dieser Lage des Bildes der Kopf seitwärts bewegt wurde, konnte die Erweiterung (*opening out*) der Ringe von ihrem ersten Anfang beobachtet werden. Bewegte man den Kopf zurück, dabei das Bild des Lichtpunkts im Centrum des Ringsystems haltend, so war es leicht den in §. 13 erwähnten Versuch anzustellen, indem solchergestalt das virtuelle Bild des Auges in einer durch den Lichtpunkt winkelrecht zu dem Spiegel gezogenen Linie gehalten war, und das Auge sich relativ zu dem Lichtpunkte bewegte, was so gut ist, wie wenn der Lichtpunkt sich bewegt, und das Auge stillgestanden hätte. In der That fand ich, dafs beim Zurückbewegen des Kopfes die Ringe sich ausdehnten bis der helle centrale Fleck, welcher das Bild umgab, das ganze Gesichtsfeld erfüllte, und bei Fortsetzung dieses Zurückbewegens des Kopfs kamen die Ringe wieder zum Vorschein. Bei der Lage, bei welcher der centrale Fleck das ganze Gesichtsfeld erfüllte, war die kleinste Seitenbewegung des Auges hinreichend, Stücke von ungemein breiten Farbenringen in das Feld zu bringen.

Zwischen den Ringsystemen, welche gesehen wurden, wenn das Auge einen geringeren oder gröfseren Abstand vom Spiegel hatte als denjenigen, bei welchem die Ringe unendlich werden, gab es einen Unterschied, dessen hier erwähnt seyn mag. So lange das Bild den Mittelpunkt des Systems einnahm, waren sie einander ähnlich; als aber der Kopf seitwärts bewegt wurde, ging das Centrum der Ringe im ersten Fall nach der Seite des Bildes, nach welcher der Kopf bewegt wurde, im zweiten Fall nach der entgegengesetzten Seite. Diefs liefert einen andern Weg, Erfahrung und Theorie

Digitized by Google

in Bezug auf die Richtung der Krümmung mit einander zu vergleichen; und leicht ersichtlich ist, dafs das Resultat des Versuchs mit der Voraussage der Theorie übereinstimmt. Gesetzt nämlich der Abstand des Auges von der schiefen Platte sey geringer als der des Lichtpunkts, so das virtuelle Bild des Auges zwischen dem Lichtpunkt und dem Spiegel liege, und möge das Auge sich nach der Rechten bewegen. Dann bewegt sich sein virtuelles Bild nach der Linken, und deshalb mufs, gemäfs der Theorie, das Centrum der Krümmung links vom Bilde des Lichtpunkts fallen; rechts und links hier gemeint in Bezug auf ein Auge, welches die Lage des virtuellen Bildes des wirklichen Auges einnehme. Allein wegen der Reflexion an der Glasplatte findet hier eine Umkehrung von Rechts in Links statt, und deshalb fällt für das Auge in seiner wirklichen Lage das Centrum der Krümmung rechts vom Bilde des Lichtpunkts, was mit der Beobachtung übereinstimmt. Der in diesem Artikel beschriebene Versuch läfst sich ganz wohl mit einer Kerzenflamme anstellen; will man aber untersuchen, was aus den Ringen bei ihrer Erweiterung werde, so ist es besser Sonnenlicht anzuwenden.

16. Bei Beschreibung des Verschwindens der Ringe sagte ich, dafs der centrale Fleck sich ausdehne bis dafs er das ganze Gesichtsfeld erfülle. In Wahrheit blieb, nach der Ausbreitung der Ringe, ein schwach leuchtender Centralfleck von begränzter Gröfse sichtbar, umgeben erst von einem dunklen Ring und dann von einem hellen. Es würde richtiger gewesen seyn, von dem *dunklen* Ring als schwach zu sprechen, weil diese Ringe blofs aus schwachen Abwechslungen der Intensität in einem im Ganzen hellen Felde bestanden. Diese Ringe hatten indefs offenbar nichts zu schaffen mit den früheren Ringen, die verschwanden; denn sie behielten das Bild des Lichtpunkts zu ihrem Centrum, wenn der Kopf seitwärts bewegt wurde. Sie sind unzweifelhaft von derselben Natur wie die, welche man erblickt, wenn man einen Lichtpunkt oder eine Kerzen-

Digitized by Google

flamme durch ein mit Lycopodium bestreutes Glas betrachtet; und sie entstehen aus der Interferenz zweier Lichtbündel, die an gegenüberliegenden Seiten der eingetrockneten Milchkügelchen vorbeigehen. Ich erwähne dieser Ringe nur, damit nicht Jemand, der diese Versuche wiederhole, sie für Etwas nehme, was mit den Farben dicker Platten zusammenhange.

17. Die Formel (21) bestimmt die Breite der verschiedenen Ringe, die ungleich ist, ausgenommen in dem Fall, dafs Auge und Lichtpunkt gleichen Abstand vom Spiegel haben. Es wird indefs zweckmäfsig seyn, eine einfache Formel aufzusuchen, die ausdrücke, was man als mittlere Breite betrachten könne. Sey mittlere Breite diejenige Breite, welche eine Franse haben würde, wenn die Veränderung der Ordnung einer Franse zur Veränderung der Lage, in Richtung senkrecht auf der Länge einer Franse, ein constantes Verhältnifs hätte, und dieses gleich wäre dem Verhältnifs in der Nachbarschaft der Projection des Bildes. Diese mittlere Breite sey β.

Man setze in (21) $y=0$, differentiire in der Voraussetzung, dafs R und x zusammen variiren, und schreibe, nach der Differentiation, $ah(h+c)^{-1}$ für x; so findet man:

$$dR=\frac{2ta}{\mu ch}dx,$$

und weil, der Definition von β zufolge, $\lambda^{-1}dR=\beta^{-1}dx$ ist, hat man:

$$\beta=\frac{\mu ch\lambda}{2ta} \quad \ldots \quad (25).$$

Wenn $c=h$, werden die Streifen gerade und von gleichförmiger Breite, nämlich von der Breite β; und wenn die Streifen nicht sehr gekrümmt sind, kann β noch als ein bequemes Maafs der Scale des Systems angesehen werden; doch ist nicht gemeint, die Formel (25) auf Fälle anzuwenden, wo die Projection des Bildes des Lichtpunktes nahe auf das Centrum der Kreise falle.

Digitized by Google

Abschnitt III.

Ringe, gebildet durch einen krummen Spiegel und direct mit dem Auge betrachtet, dabei der Lichtpunkt und sein Bild nicht in derselben, auf der Axe winkelrechten Ebene.

Die Ringe und Streifen, welche in den beiden vorhergehenden Abschnitten betrachtet wurden, können als die beiden äufsersten Fälle des allgemeinen Systems angesehen werden. Im ersten Falle scheinen die Ringe eine bestimmte Lage im Raume zu haben, im zweiten hängt Alles von der Lage des Auges ab. Diefs sind die Fälle vom meisten Interesse, allein das allgemeine System besitzt einige Eigenschaften, die Beachtung verdienen.

Um die Ringe auf einen Schirm zu werfen, ist erforderlich, dafs die Verzögerung des einen interferirenden Bündels gegen das andere beinahe constant sey für das Ganze der getrübten Fläche oder wenigstens für einen grofsen Theil derselben. Allein, wenn man die Ringe direct mit dem Auge betrachtet, hat man es, bei Beschauung eines gegebenen Punktes eines Ringes, mit einem so kleinen Theil der getrübten Fläche zu thun, dafs man die Ringe sehr gut sehen kann in Fällen, in welchen sie nicht auf einen Schirm geworfen werden können. Ueberdiefs haben wir gesehen, dafs selbst unabhängig von der kleinen Gröfse der Pupille, ein Stück des Systems wenigstens deutlich gesehen wird, wenn man das Bild des Lichtpunkts deutlich sieht. Vernachlässigen wir aufserdem die Bedingungen der Deutlichkeit zu betrachten, nehmen wir das Auge für einen Punkt, und untersuchen die Gestalt und den Charakter der Ringe.

19. Seyen f, g, h die Coordinaten des Auges. Um die Verzögerung zu finden, wird es hinreichen, wie im §. 9, f, g, h für a', b', c', zu schreiben, und durch x und y die Coordinaten desjenigen Punktes am Spiegel zu bezeichnen, auf welchen ein gegebener Punkt eines Ringes projicirt gesehen wird. Die ganze Verzögerung ist die Summe der Ausdrücke in (5) und (11), und macht man die obige Substitution, so hat man:

Digitized by Google

$$R=\frac{t}{\mu}\left(\frac{f^2+g^2}{h^2}-\frac{a^2+b^2}{c^2}\right)+\frac{t}{\mu}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)(x^2+y^2)$$
$$-\frac{2t}{\mu}\left[\frac{1}{h}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)(fx+gy)-\frac{1}{c}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)(ax+by)\right] \quad (26).$$

Folglich sind die Streifen noch ein System von concentrischen Ringen. Sind X, Y, die Coordinaten des Centrums des Systems, so ist:

$$X=\frac{\frac{f}{h}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{a}{c}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)}{\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)} \quad \ldots \quad (27)$$

wornach Y, der Symmetrie nach, hingeschrieben werden kann.

Die Gleichungen einer das Auge und den Lichtpunkt verbindenden Linie sind

$$\frac{\xi-a}{f-a}=\frac{\eta-b}{g-b}=\frac{\zeta-c}{h-c}.$$

Am Punkt, in welchem diese Linie den Spiegel schneidet, ist $\zeta=0$ oder wenigstens sehr klein und zu vernachlässigen. Folglich haben wir

$$\xi=\frac{\frac{a}{c}-\frac{f}{h}}{\frac{1}{c}-\frac{1}{h}} \quad \ldots \quad (28)$$

woraus η hingeschrieben werden kann, wenn es erfordert wird. Bezeichnen ξ_1 und η_1 die Coordinaten des Punkts, in welchen die das Auge und das Bild verbindende Linie den Spiegel trifft; ξ_1 und η_1 können aus ξ und η erhalten, wenn man a_1, b_1, c_1 statt a, b, c schreibt wo a_1, b_1, c_1 die Coordinaten des Bildes bezeichnen.

Erwägt man, dafs

$$\frac{a_1}{c_1}=-\frac{a}{c}, \quad \frac{1}{c_1}=\frac{2}{\varrho}-\frac{1}{c},$$

so findet man:

$$\xi_1=\frac{\frac{a}{c}+\frac{f}{h}}{\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}} \quad \ldots \quad (29).$$

Digitized by Google

Die Formeln (27), (28) und (29) zeigen, dafs X gleich ist der halben Summe von ξ und ξ_1, und aus demselben Grunde ist Y gleich der halben Summe von η und η_1. Die im §. 11 für den Fall eines Planspiegels gegebene Construction zu Auffindung des Centrums des Systems gilt also auch für einen krummen Spiegel, selbst wenn die Krümmungen beider Flächen verschieden sind. Da die Verzögerung für das Bild selbst verschwindet, so folgt, dafs die achromatische Linie ein Kreis ist, der die beiden eben erwähnten Durchschnittspunkte zu entgegengesetzten Enden eines Durchmessers hat.

20. Aus den Ausdrücken für X und Y, oder aus der geometrischen Construction, zu welcher sie führen, folgt, dafs, wenn das Auge nicht in der den Lichtpunkt mit seinem Bilde verbindenden Linie liegt und es eine der beiden auf der Axe senkrechten Ebenen schneidet, von denen die eine durch den Lichtpunkt und die andere durch dessen Bild geht, das Centrum der Krümmung der Streifen sich bis in unendliche Entfernung bewegt und die Streifen erst gerade werden und dann sich in umgekehrter Weise biegen.

Fällt das Auge mit dem Lichtpunkt zusammen, so werden f, g, h respective gleich a, b, c und R verschwindet unabhängig von x und y. Dasselbe geschieht, wenn das Auge mit dem Bilde zusammenfällt, weil dann

$$\frac{f}{h} = -\frac{a}{c}, \quad \frac{g}{h} = -\frac{b}{c}, \quad \frac{1}{h} + \frac{1}{c} = \frac{2}{\varrho}.$$

Wenn folglich das Auge eine der oben erwähnten Ebenen schneidet, und dabei in der den Lichtpunkt mit seinem Bilde verbindenden Linie bleibt, haben wir, statt Streifen, die gerade werden und dann ihre Krümmung ändern, Ringe, welche durch Erweiterung bis ins Unendliche verschwinden und darauf wieder erscheinen.

Ich habe diese Schlüsse durch Versuche bewährt gefunden, wobei ich, wenns nöthig war, in der im §. 13 erwähnten Weise ein virtuelles Bild des Auges statt des Auges selber nahm. Die Versuche umfafsten die folgenden Fälle, bei deren Beschreibung O das Krümmungscentrum des

Digitized by Google

des Spiegels, F den Hauptbrennpunkt desselben, L den Lichtpunkt, und L_3 dessen Bild bezeichnet.

Concaver Spiegel: L jenseits O. Auge: 1) jenseits L; 2) bei (*passing*) L; 3) zwischen L und L_3; 4) bei L_3 5) zwischen L_3 und dem Spiegel.

Concaver Spiegel: L zwischen O und F. Auge: 1) jenseits L_3; 2) bei L_3; 3) zwischen L_3 und L; 4) bei L; 5) zwischen L und dem Spiegel.

Concaver Spiegel: L zwischen F und dem Spiegel. Auge: 1) jenseits L; 2) bei L; 3) zwischen L und dem Spiegel.

Convexer Spiegel: Auge: 1) jenseits L; 2) bei L; 3) zwischen L und dem Spiegel.

Die angewandten Spiegel hatten, wie gewöhnlich, Flächen von gleicher Krümmung. Wurde die Beobachtung direct angestellt, war es nicht schwierig, zu bestimmen, auf welcher Seite der den Lichtpunkt mit seinem Bilde verbindenden Linie das Auge lag, und folglich zu entscheiden, ob die Richtung der Krümmung mit der Theorie übereinstimmte oder nicht. Machte man die Beobachtung durch Reflexion an einer Glasplatte, so wurde das Auge so gestellt, dafs sein virtuelles Bild in die Linie LL_3 fiel, indem man den Kopf bewegte bis das Bild des Lichtpunkts im Centrum des Ringsystems gesehen wurde. Da die Radien der beiden Flächen des Spiegels gleich, oder nur um eine gegen die Glasdicke kleine Gröfse verschieden waren, so konnten die beiden Flächen als concentrische Kugeln angesehen werden; und da in Bezug auf die Linie, welche L und L_3 verbindet, Alles symmetrisch ist, so werden, wenn das Auge in dieser Linie liegt, die Streifen nothwendig Ringe, welche das Bild zum Centrum haben. Die Theorie der Ringe oder Streifen also, welche hier mit der Erfahrung verglichen wurde, schlofs nicht die Annahme ein, dafs das Bild des Auges in der Linie LL_3 sey, wenn das Ringsystem in symmetrischer Lage um das Bild des Lichtpunkts erscheint. Indem man den Kopf etwas nach der einen Seite bewegte

Digitized by Google

und nachsah, ob das Centrum des Ringsystems rechts oder links von dem Bilde läge, war es leicht die Theorie, in Bezug auf die Richtung der Krümmung, mit der Beobachtung zu vergleichen.

Es war nicht schwer zu sagen, wann das virtuelle Bild des Auges mit dem Bilde des Lichtpunkts zusammenfiel, da in diesem Falle das letztere Bild sich unendlich ausdehnte. Die beobachteten Erscheinungen lieferten keinen directen Beweis von der Coïncidenz des virtuellen Augenbildes mit dem Lichtpunkt, mit Ausnahme dessen, was aus dem Erscheinen der Streifen selbst hervorging. Ich hielt es nicht für werth, Messungen anzustellen, sondern begnügte mich mit der Beobachtung, dafs wenn das Auge in oder nahe bei der erwarteten Lage war, die Ringe sich unendlich erweiterten, sobald das Bild im Centrum des Systems gehalten ward, und dafs die entstandenen Streifen wenn man das Bild seitwärts gehen liefs, ihre Krümmung änderten, so wie man den Kopf rück- oder vorwärts bewegte.

21. Durch die Lage und Gröfse der achromatischen Linie, so wie durch den Werth der numerischen Gröfse die schon als Central-Ordnerin definirt worden ist, kann man die Streifen als vollkommen charakterisirt betrachten. Zur Bestimmung des achromatischen Kreises ist schon eine einfache geometrische Construction gegeben worden. Substituirt man X, Y für x, y in (26) und bezeichnet den resultirenden Werth von R durch $-n_0\lambda$ so findet man:

$$n_0=\frac{t}{\mu\lambda}\frac{\left\{\frac{f}{h}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{a}{c}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)\right\}+\left\{\frac{g}{h}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{b}{c}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)\right\}^2}{\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{c}\right)\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)} \quad (30)$$

wo bei Anwendung dieser Formel n_0 positiv zu nehmen ist.

Bezeichnet man wie zuvor den Radius des achromatischen Kreises durch v, so findet man aus (28), (29) und den daraus abgeleiteten Formeln, welche η und η_1 geben:

Digitized by Google

$$v^2 = \frac{\left\{\frac{f}{h}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{a}{c}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)\right\}^2+\left\{\frac{g}{h}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{\varrho}\right)-\frac{b}{c}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\varrho}\right)\right\}^2}{\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{c}\right)^2\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)^2} \quad (31).$$

Sind die Streifen beinahe gerade, so ist es bequemer statt der Central-Ordnerin, die mittlere Breite einer Franse zu betrachten. Zufolge der Definition von β ist

$$v+\beta dn_0 : v :: \sqrt{n_0+dn_0} : \sqrt{n_0}.$$

da sich die Radien der verschiedenen Ringe verhalten wie die Quadratwurzeln aus ihren Ordnungen. Wir haben also:

$$\beta = \frac{v}{2n_0}. \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

22. Wenn, bei einem Hohlspiegel, eine kleine Flamme so gestellt wird, dafs sie mit ihrem Bilde zusammenfällt, und man bringt sie nun dem Spiegel etwas näher oder ferner, so ist es möglich, mit beiden Augen auf einmal ein einfaches Ringsystem zu sehen, sobald die Augen gegen die Flamme und deren Bild symmetrisch gelagert sind. Diese gesehenen Ringe scheinen zwischen der Flamme und ihrem Bilde zu liegen. Sey E das rechte, und E' das linke Auge, und werde der Kopf so gehalten, dafs die Linien LL_3 und EE' sich rechtwinklich schneiden. Wegen Aehnlichkeit der Lage beider Augen mufs das mit dem einen Auge gesehene Ringsystem genau dem mit dem anderen gesehenen gleich seyn, und daher ist es, damit zugleich mit beiden Augen ein einziges Ringsystem gesehen werde, nothwendig und hinreichend, dafs die Augenaxen auf die Centra der respectiven Systeme gerichtet seyen. Schon ist gezeigt worden, dafs der auf den Spiegel projicirte Ort des Centrums des mit einem Auge, z. B. dem rechten, gesehenen Ringsystems die Linie halbirt, welche die projicirten Orte der Flamme und ihres Bildes verbindet. Wegen der vorausgesetzten Kleinheit der Schiefen ist diefs dasselbe, als wenn man sagt: das Centrum des mit dem rechten Auge gesehenen Systems erscheine in Richtung einer Linie, welche den Winkel LEL_3 halbirt. Ebenso erscheint das Centrum

Digitized by Google

des mit dem linken Auge gesehenen Systems in Richtung einer Linie, welche den Winkel $LE'L_3$ halbirt. Um also nur ein einziges System zu sehen, müssen die Augenaxen auf den Punkt convergiren, in welchen die halbirenden Linien die Linie LL_3 schneiden; deshalb wird das Ringsystem zwischen der Flamme und deren Bilde zu liegen scheinen.

Da die Winkel LEL_3, $LE'L_3$ von den Augenaxen halbirt werden, wenn man das Ringsystem einfach sieht, so folgt, dafs die Flamme und ihr umgekehrtes Bild beide doppelt gesehen werden, in solcher Weise, dafs die von dem einen Auge gesehene aufrechte Flamme überdeckt wird von der umgekehrten Flamme, die das andere sieht. Diefs stimmt mit der Erfahrung, und wirklich fand ich die obige Regel zur Bestimmung der scheinbaren Lage der Ringe durch den Versuch, ehe ich sie aus der Theorie abgeleitet hatte. Die Beobachtung wurde gemacht, als die Flamme vor ihrem Bilde war, in welchem Falle die Lage der Ringe im Raume bestimmter erscheint als wenn das Bild vor der Flamme ist.

Abschnitt IV.

Gerade Streifen, gebildet durch einen Planspiegel unter beträchtlichem Einfallswinkel, und mit einem Auge entweder direct oder durch ein Fernrohr gesehen.

23. So wie der Einfallswinkel wächst, werden die Streifen immer feiner, und nachdem sie so fein geworden sind, dafs sie nicht mehr mit blofsem Auge erkannt werden können, sind sie noch durch ein Fernrohr zu sehen, sobald die Lichtquelle hinreichend klein ist. Als die Lichtquelle aus dem Sonnenbilde einer Linse von kurzer Brennweite bestand, sah ich Spuren von Streifen, wenn der Einfallswinkel etwa 24° 50′ betrug; allein sie waren nicht ganz gut gebildet jenseits eines Winkels von etwa 10° 40′, hinter welchem sie anfingen sich mit Strahlen zu verwischen, die vom Bilde des Lichtpunkts in allen Richtungen fortschossen. Bei einem Spiegel von dünnerm Glase würden sie wahrscheinlich unter einem noch gröfseren Ein-

Digitized by Google

fallswinkel sichtbar seyn. Die Theorie im Abschnitt II erklärt ihren Ursprung und allgemeinen Charakter hinreichend; allein da bei Aufstellung der Formeln jenes Abschnitts die Schiefe als klein vorausgesetzt ward, so mag es wünschenswerth seyn, einen Ausdruck für ihre Breite zu haben, in welchem keine von der Kleinheit der Schiefe abhängige Annäherung gemacht ist, um künftigen Messungen, die bei einem grofsen Einfallswinkel unternommen werden, zuvorzukommen.

24. Da wir die im §. 10 gebrauchten Bezeichnungen beibehalten, brauchen wir nur die Gleichungen (17) und (18) anzuwenden, ohne eine von der Kleinheit der Winkel φ und φ' abhängige Annäherung zu machen. Die Dicke t mag noch als klein im Vergleich zu c und h angenommen werden. Vernachlässigen wir t bei erster Annäherung und substituiren dann die aus dieser Annäherung erhaltenen Werthe von $\tang\varphi'$ und $\sec\varphi'$, so finden wir

$$R_1 = \sqrt{c^2+s^2} + \sqrt{h^2+u^2} + 2t\sqrt{\frac{(u^2-1)s^2+\mu^2c^2}{s^2+c^2}}.$$

Dann c mit h, und s mit u vertauschend, und subtrahirend, bekommen wir zuletzt:

$$R = 2t\left\{\sqrt{\mu^2-\frac{s^2}{s^2+c^2}} - \sqrt{\mu^2-\frac{u^2}{u^2+h^2}}\right\} \quad (33).$$

25. Für die achromatische Linie ist $R=0$, und also $s:c :: u:h$. Folglich steht s zu u in dem constanten Verhältnifs $c:h$, und daher ist, nach einem wohl bekannten geometrischen Theorem, die achromatische Curve ein Kreis, der seinen Mittelpunkt in der verlängerten Linie L_0E_0 hat, und diese Linie in den beiden Punkten schneidet, in welchen sie aufsen und innen in dem gegebenen Verhältnifs getheilt ist. Der letztere dieser Punkte kann gebildet werden, wenn man LE fortzieht bis sie die verlängerte L_0E_0 trifft, und der erstere, indem man LL_0 verlängert, bis die Verlängerung gleich ist der Linie selbst, und dann das Ende der Verlängerung mit E verbindet. Folglich ist die im §. 11 gegebene Construction zur Bestimmung des hellen Streifens von der Ordnung Null für jeglichen Einfallswinkel gültig.

Digitized by Google

26. In der Nachbarschaft des Bildes sind die Streifen beinahe gerade, da sie Kreisen von sehr grofsem Radius angehören. Um die mittlere Breite eines Streifens zu finden, reicht es hin, den Punkt P als in der Linie $L_o E_o$ liegend anzunehmen, die Gleichung (33) zu differentiiren, dabei R, s und u zusammen zu variiren und $s+u$ constant zu lassen, $\frac{dR}{du}$ durch $\frac{\lambda}{\beta}$ zu ersetzen, und nach der Differentiation u und s auf das kleine als Strahl betrachtete Bündel zu beziehen, durch welches das Bild gesehen wird. Ist i der Einfallswinkel, so kann man nach der Differentiation setzen: $s=c\,\mathrm{tg}\,i$, und $u=h\,\mathrm{tg}\,i$, und hat demnach

$$\beta=\frac{\lambda c h}{2t(c+h)}\cdot\frac{\sqrt{\mu^2-\sin^2 i}}{\sin i\cos^2 i}\quad\ldots\quad(34).$$

Wegen der Gröfse des Einfallswinkels ist die Breite der Streifen fast gleichförmig, und deshalb kann β als die Breite irgend eines Streifens angesehen werden, wobei man sich zu erinnern hat, dafs β die lineare Breite eines Streifens ist, wie man ihn auf den Spiegel projicirt sieht. Bezeichnet man die Winkelbreite durch ω, so hat man wegen der Kleinheit dieser Gröfse

$$\omega=\frac{\beta\cos i}{h\sec i}=\frac{\lambda c}{t(c+h)}\frac{\sqrt{\mu^2-\sin^2 i}}{\sin 2i}\quad\ldots\quad(35).$$

Abschnittt V.

Ueber die Natur der Ablenkung zweier interferirenden Lichtbündel aus der Bahn des regelmäfsig reflectirten Lichtes.

27. Ein Freund, dem ich einige der beschriebenen Versuche zeigte, meinte, dafs man wahrscheinlich nur durch eine auf beiden Seiten trüb gemachte Glasplatte nach einem Lichtpunkt zu sehen brauche, um Streifen oder Ringe gleicher Natur zu erblicken. Als ich indefs die beiden Seiten einer Glasplatte in gleicher Weise wie die Spiegel mit Milch und Wasser zubereitete und dabei die beiden Seiten möglichst gleich behandelte, konnte ich bei Betrachtung eines Lichtpunkts durch die Platte auch nicht die geringste Spur

Digitized by Google

von Ringen oder Streifen wahrnehmen, welchen Abstand von der Platte das Auge auch haben mochte. Zwar umgaben den Lichtpunkt ein Paar undeutliche Ringe, allein diese waren von ganz anderer Natur, waren analog den mit Lycopodium hervorzubringenden Ringen, und entstanden aus der Interferenz der Lichtbündel, die an entgegengesetzten Seiten der Milchkügelchen vorbeigingen. Es hatte keine Schwierigkeit, sie von dem gesuchten System zu unterscheiden, weil sie fortwährend den Lichtpunkt zu ihrem Centrum behielten, wenn man die Platte gegen die diesen Punkt mit dem Auge verbindende Linie neigte. Die Abwesenheit der Ringe und Streifen zeigte also, dafs die an den beiden Seiten der Platte zerstreuten Bündel nicht mit einander zu interferiren vermochten.

Die Strahlen, welche bei der Zerstreuung unendlich kleine Winkel mit den regelmäfsig gebrochenen Strahlen bilden, gehören zu einem Punkte des hellen Streifens nullter Ordnung, und werden daher auf der Netzhaut vereinigt, wenn der Lichtpunkt deutlich gesehen wird. Dasselbe müfste, wenigstens sehr angenähert, für die benachbarten Punkte des Ringsystems gelten, wenn ein solches existirte, und deshalb würde man wenigstens einen Theil des Systems deutlich sehen, wenn man den Lichtpunkt deutlich sieht. Die Abstände des Lichtpunkts von der Glasplatte und der Glasplatte von dem Auge waren vergleichbar mit den entsprechenden Abständen beim Planspiegel-Versuch, und die Glasdicke war ebenfalls vergleichbar; und bei einem Spiegel sieht man die Streifen mit der äufsersten Leichtigkeit innerhalb weiter Gränzen von Glasdicken und von Abständen des Lichtpunkts und des Auges vom Spiegel. Um indefs jeden Zweifel zu heben, dafs nicht die Streifen bei Bildung durch Transmission zu klein gewesen seyn möchten, um nicht gesehen zu werden, habe ich die Verzögerung auf dieselbe Weise wie im §. 10 berechnet; das Resultat ist

$$R = -\frac{t}{2\mu}\left(\frac{1}{c}+\frac{1}{h}\right)^2(x^2+y^2)$$

Digitized by Google

worin R die Verzögerung des beim Austritt zerstreuten Strahls gegen den beim Eintritt zerstreuten ist, c der Abstand des Lichtpunkts von der Platte, h der der Platte von dem Auge, t die Dicke und μ der Brechungsindex der Platte; x und y sind die Coordinaten des Punktes, in welchem die Platte von einem kleinen, ins Auge eintretenden Bündel (betrachtet als Strahl) geschnitten wird, und sie werden gemessen von dem Punkt, in welchem die den Lichtpunkt und das Auge verbindende Linie, die als winkelrecht auf der Ebene der Platte vorausgesetzt wird, die Platte schneidet. Bei Einsetzung von Zahlenwerthen in obige Formel ergaben sich für die Ringe solche Dimensionen, dafs sie, wenn sie wirklich gebildet worden wären, der Beobachtung nicht füglich hätten entgehen können.

Das Nicht-Erscheinen der Ringe führt zu folgendem Gesetz:

Sollen zwei Bündel zerstreuten Lichtes interferiren, so ist es nothwendig, dafs sie, beim Hin- und Rückgang, durch dieselbe Reihe von Theilchen zerstreut werden. Zwei Bündel, die durch zwei verschiedene Reihen von Theilchen zerstreut worden sind, wenn sie auch ursprünglich aus derselben Quelle herstammen, verhalten sich zu einander wie zwei Bündel aus verschiedenen Quellen.

Diesem Gesetze zufolge mufs man, bei allen Rechnungen über die Farben dicker Platten, die elementaren Ring- oder Streifensysteme, die den einzelnen Elementen der getrübten Spiegelfläche entsprechen, in Betracht ziehen und sie als einander deckend ansehen. Die Vibrationen in Bündeln, die an verschiedenen Elementen zerstreut wurden, dürfen nicht zusammengesetzt werden.

28. Der Grund zu diesem Gesetz wird erhellen, wenn man erwägt, dafs Staubtheilchen etc., so klein sie auch seyn mögen, doch gegen Lichtwellen meistens grofs sind, so dafs das beim Eintritt zerstreute Licht, als Ganzes genommen, höchst unregelmäfsig ist. Der einzige Grund, warum überhaupt eine regelmäfsige Interferenz möglich ist, ist der, dafs jedes Staubtheilchen zwei Mal in ähnlicher Weise wirkt,

Digitized by Google

einmal beim Hingange der Welle, und einmal beim Rückgange derselben.

Um die Wirkungsweise näher zu untersuchen, möge *P* ein Staubtheilchen seyn, und eine Lichtwelle betrachtet werden, die von einem einzelnen Element der Flamme oder irgend einer Lichtquelle ausgeht. Wenn diese Welle das Theilchen *P* erreicht und an ihm fortgeht, wird äufserlich eine Portion in allen Richtungen reflectirt und mit dieser haben wir nichts zu schaffen. Sobald die Welle *P* eben vorbei ist, kann man annehmen, als hätte sie gewissermafsen vorn ein *Loch*, entsprechend der Gröfse von *P*; d. h. in einem gewissen Stück der Fläche, welche die allgemeine Vorderseite der Welle bildet, wird der Aether in Ruhe seyn. So wie die Welle fortschreitet, divergirt die Störung von der Nachbarschaft dieses Loches aus durch regelmäfsige Diffraction, und wenn die Störung die belegte Spiegelfläche erreicht, erleidet die allgemeine Welle eine Reflexion, so gut wie die secundären Wellen, welche, da sie von der Nachbarschaft von *P* aus divergirt haben, keine Welle mit ungestörter (*unruffled*) Vorderseite bilden, weil es an secundären Wellen fehlt, die von dem Loche selbst aus divergiren, und diese würden nöthig seyn, um eine Welle mit ähnlicher Vorderseite wie die ursprüngliche herzustellen. Betrachten wir einen einzelnen gebeugten Strahl, so ist es wahrscheinlich, dafs er bei seiner Rückkehr eine regelmäfsige Refraction erleide, weil angenommenermafsen der Staub nur einen mäfsigen Theil der Vorderfläche des Spiegels bedeckt. Ein Stück der Welle, welches in gewissem Abstande von *P* durch regelmäfsige Refraction in das Glas eintrat, wird, nach regelmäfsiger Reflexion, von innen auf *P* einfallen. Es ist wahrscheinlich, dafs das somit auf *P* einfallende Stück nicht einem Fleck entspricht, wo die Vorderseite der Welle materiell durch Diffraction beim Eintritt gestört worden ist, so dafs man bei Betrachtung der auf *P* einfallenden Welle die vorherige Diffraction vernachlässigen kann. Gleich nach der Refraction fällt dann die Welle auf *P* ein, von welchem ein Theil wie-

Digitized by Google

derum in verschiedenen Richtungen zurückgeworfen wird, mit dem wir es aber nicht zu thun haben; ein Theil wird vielleicht von P gebrochen oder absorbirt, und der Rest geht weiter. Die so fortgehende Welle divergirt von der Nachbarschaft von P aus durch gewöhnliche Diffraction und die beiden gebeugten Bündel, da sie von demselben Theilchen in ähnlicher Weise gebeugt wurden, sind im Zustande zu interferiren. Die Aehnlichkeit der beiden Diffractionen soll im nächsten Abschnitte ausführlicher betrachtet werden.

Während nun das Licht noch in dem Glase ist, denke man sich die Staubtheilchen entfernt und aufs Gerathewohl wieder hergestellt. Die Wahrscheinlichkeit ist, dafs kein Theilchen den zuvor von P eingenommenen Ort einnehmen werde. Sey P' das der früheren Lage von P nächste Theilchen und, um eine für Interferenz möglichst günstige Voraussetzung zu machen, sey P' eben das Theilchen P, ein wenig auf der Fläche fortgeschoben, ohne Drehung. Obgleich das Verzögerungs-Intervall R der beiden durch P in seiner ersten Lage gebeugten Lichtbündel bei Ankunft dieser in einem gegebenen Punkt des Raums fast gleich ist dem Verzögerungs-Intervall der beiden durch P in seiner zweiten Lage gebeugten Bündel bei Erreichung desselben Punkts, so würde doch, wie leicht zu ersehen, dieses Intervall gänzlich geändert werden, wenn die Verschiebung der Lage während der Zeit geschähe, welche zwischen dem Abgang der Welle von P und ihrer Rückkehr nach der Reflexion verstreicht. Ueberdiefs würde sich der Betrag des Verzögerungs-Intervalls in sehr unregelmäfsiger Weise von Theilchen zu Theilchen verändern und deshalb keine regelmäfsige Interferenz stattfinden. Der eben betrachtete rein ideale Fall ist nun genau analog dem Fall beim wirklichen Versuch, wo ein Lichtpunkt durch eine auf beiden Seiten getrübte Glasplatte betrachtet wird, weil die Theilchen an der einen Seite keine Beziehung haben zu denen an der anderen. In einem Falle wie dieser können wir daher nicht erwarten, Ringe oder Streifen zu sehen.

Digitized by Google

29. Gemäfs der Formel (35) wird die Winkelbreite eines durch einen Planspiegel gebildeten Streifens bedeutend, sobald i nahe gleich 90° wird, so dafs, anscheinend, bei einem grofsen Einfallswinkel Streifen sichtbar seyn müfsten. Allein wenn man die Bahnen zweier durch eine selbe Reihe von Theilchen zerstreuten Bündel verfolgt, so findet man, dafs sie so weit aus einander liegen, dafs, aus verschiedenen Gründen, keine regelmäfsige Interferenz zu erwarten ist. Folglich sind bei grofsem Einfallswinkel keine Streifen sichtbar.

30. In den vorhergehenden Abschnitten haben wir von dem Licht gesprochen, durch welches Ringe gebildet werden als wären sie an der getrübten Fläche *zerstreut* (*scattered*) worden. Und so verhält es sich wirklich, wenn wir mit diesem Worte blofs eine Ablenkung aus der Bahn verstehen, die sie nach dem Gesetz der regelmäfsigen Refraction befolgt haben würden. Allein nach dem vorhergehenden Artikel ist das Licht, im strengen Sinne des Worts, nicht zerstreut, sondern regelmäfsig gebeugt worden. Zerstreutes Licht ist, streng genommen, dasjenige, durch welches wir gewöhnlich die Körper sehen, oder auch dasjenige, welches weifses Papier und ähnliche Substanzen durchlassen. Die vorstehende Ansicht über die Natur des Lichts, durch welches Ringe gebildet werden, wird durch die Resultate verschiedener Versuche bestätigt.

Bei den in der Einleitung erwähnten Versuchen von Sir William Herschel und Hrn. Pouillet, so wie auch bei denen des Herzogs von Chaulnes wurden Ringe von gleicher Art mit den an einem belegten Glasspiegel entstehenden in solchen Fällen gebildet, in welchen die Ablenkung des Lichts aus seiner regelmäfsigen Bahn unwiderleglich von der Natur der Diffraction ist. Aus der Aehnlichkeit der Wirkung haben wir ein Recht auf die Aehnlichkeit der Ursache zu schliefsen, sobald diefs nicht besondere Schwierigkeit mit sich bringt, und das scheint hier nicht der Fall zu seyn, sondern gerade das Gegentheil.

Digitized by Google

31. Nachdem ich die Oberfläche eines Hohlspiegels, der zur Bildung der Streifen angewandt worden, gereinigt hatte, rieb ich sie mit etwas Talg ein, und wischte sie dann in einer Richtung mit einem Handtuch ab, so dafs zarte Furchen darauf gebildet wurden. Der Ueberzug veranlafste keine grofse Dunkelheit; allein das Bild einer Kerze das in dem Spiegel gesehen wurde, war, wie gewöhnlich unter diesen Umständen, winkelrecht gegen die Streifen mit zwei Lichtschweifen versehen. Als eine kleine Flamme in den Krümmungsmittelpunkt des Spiegels gestellt war, fand ich, dafs die Ringe dort, wo sie von den Lichtschweifen geschnitten wurden, mit grofser Lebhaftigkeit erschienen, anderswo aber fast unsichtbar waren.

Nun sind bekanntlich die Lichtschweife ein Diffractionsphänomen; der gestreifte Ueberzug kann nämlich als eine Art von unregelmäfsigem Gitter betrachtet werden und die Lichtschweife sind von der Natur der Fraunhofer'schen Spectra. Wäre ein Ueberzug (*tarnish*) im Allgemeinen vermögend, unabhängig von Diffraction, Ringe zu erzeugen, so gäbe es keinen Grund, warum ein Ueberzug von Talg diefs nicht vermöchte; denn die Talgtheilchen sind zarter als die der meisten Arten von Schmutz. Wenn aber beim Talgüberzug die Ablenkung des Lichts aus der regelmäfsigen Bahn nicht ein Diffractionsphänomen wäre, so fände sich kein Grund, weshalb in dem eben beschriebenen Versuche die Ringe sich auf die Lichtschweife beschränkten.

32. Die Polarisationsphänomene scheinen jedoch ein *Experimentum crucis* an die Hand zu geben, um zu entscheiden, ob die Ablenkung des Lichts aus seiner regelmäfsigen Bahn, welche die Bildung der Ringe veranlafst, ein Diffractionsphänomen oder ein Zerstreuen im eigentlichen Sinne des Wortes sey. Wenn polarisirtes Licht zerstreut wird, entweder durch Reflexion an weifsem Papier oder durch Transmission durch dasselbe, so verliert es seine Polarisation; allein wenn polarisirtes Licht eine

Digitized by Google

regelmäfsige Diffraction erleidet, so behält es seine Polarisation.

Ich stellte eine kleine Flamme nahe an den Krümmungsmittelpunkt eines Hohlspiegels, dessen Oberfläche mit Milch und Wasser zubereitet worden, und brachte nun ein Nicol'sches Prisma dicht an die Flamme, damit das auf den Spiegel fallende Licht polarisirt sey. Bei Untersuchung mit einem zweiten Nicol erwiesen sich die Ringe vollkommen polarisirt.

33. Es wird hier nicht am unrechten Orte seyn, die wahrscheinliche Ursache eines von Hrn. Pouillet beobachteten Phänomens nachzuweisen. Bei einem Versuch, bei welchem Ringe entstanden, als einfach ein opaker Körper mit gerader Kante vor einem Spiegel gehalten wurde, fand sich, dafs sie nur zu einer Hälfte ihres Umfangs deutlich ausgebildet waren. Der Grund hievon scheint einfach folgender zu seyn. So wie die Lichtwellen auf ihrem Gange zum Spiegel die beugende Kante treffen, werden die einwärts gebeugten, in den geometrischen Schatten eintretenden Strahlen von dem Spiegel regelmäfsig reflectirt und auf den opaken Körper zurückgeworfen, der sie auffängt. Da diese Strahlen zur Bildung derjenigen Hälfte des Systems welche mit dem opaken Körper auf einer Seite liegt, nothwendig sind, so wird nur die andere Hälfte gut gebildet. Die erste Hälfte kann nur dunkel gebildet werden durch einige wenige Strahlen, die, in der erforderlichen Richtung, in solchem Abstande von der Kante gebeugt worden sind, dafs sie bei ihrer Rückkehr dicht an der Kante vorbeistreichen und so mit anderen Strahlen interferiren, die von der Kante bei Rückkehr der allgemeinen Welle gebeugt wurden.

Abschnitt VI.

Untersuchung der Beugungswinkel.

34. Zur Vervollständigung der Theorie dieser Ringe und Streifen bleibt noch übrig, die beiden Diffractionen zu

Digitized by Google

vergleichen, welche eine Lichtwelle respective bei ihrem Eintritt in das Glas und bei ihrer Rückkehr erleidet. Denn die Phase und die Intensität eines in gegebener Richtung gebeugten Strahls hangen gänzlich von den Umständen ab, unter welchen die Diffraction stattfindet; und wären die Umstände bei den oben erwähnten beiden Diffractionen wesentlich verschieden, so könnten die Ringe modificirt werden oder selbst ganz verschwinden.

Betrachten wir zunächst den Fall, wo bei einem Hohlspiegel der Lichtpunkt und sein Bild in derselben, auf der Axe winkelrechten, Ebene befindlich sind. Betrachten wir in diesem Falle irgend einen Punkt P der getrübten Fläche und irgend einen Punkt M in der Ebene der Ringe, so wird der Beugungswinkel des gebeugten Strahls beim Austritt seyn: L_3PM [1]). Für die beim Eintritt gebeugten Strahlen wird der Beugungswinkel, *gemessen in der Luft*, seyn: LPM_3, d. h. M_3P ist die Bahn eines Strahls in der Luft, welcher durch regelmäfsige Brechung im Glase in die Richtung des bei P gebeugten Strahles gebracht werden würde. Ist C der Durschnitt der Axe und der Ring-Ebene, so wird C der Mittelpunkt des Systems, so wie der Linien LL_3 und MM_3 seyn, und deshalb wird LM_3 gleich und parallel mit L_3M seyn. Folglich sind, wegen Kleinheit der Schiefen, die Beugungswinkel LPM_3 und L_3PM beinahe gleich; ihre Ebenen fallen nahe zusammen, allein die Ablenkungen finden in entgegengesetzten Richtungen statt. Allein zwischen den beiden Diffractionen erleidet das Licht eine Reflexion, und weil die gegenseitige Neigung der Strahlen durch die Reflexion umgekehrt wird, müssen wir uns die Richtung der Ablenkung bei der ersten Diffraction umgehrt denken, um die Umstände beider Diffractionen zu vergleichen. Diese Umkehrung zugegeben, sehen wir, dafs nicht nur die Diffractionswinkel beinahe

1) Indem ich von Diffractionswinkeln, wie L_3PM, spreche, werde ich zwischen L_3PM und MPL_3 unterscheiden, nämlich, die erstere Bezeichnung für die Ablenkung von PL_3 nach PM, die letztere für die Ablenkung von PM nach PL_3 gebrauchen.

Digitized by Google

zusammenfallen, sondern auch die Ablenkungswinkel dieselben sind.

Demgemäfs erfolgt die mit der Beugung verknüpfte Interferenz unabhängig von der Interferenz, welche zu den Farben dicker Platten Anlafs giebt. Denn bezeichnen I und I' die Vibrationen von M, herrührend von zwei Lichtbündeln, die beim Eintritt in das Glas an einem Staubtheilchen P gebeugt worden sind und an entgegengesetzten Seiten von P vorbeistreichen. Bezeichnen J und J' die Vibrationen, herrührend von zwei Bündeln, die beim Austritt gebeugt wurden und an denselben Seiten von P vorbeistreichen wie respective I und I'. Bezeichne $I+I'$ die Resultante von I und I', und ähnlich in anderen Fällen. Sey χ der Phasenunterschied, entsprechend der Verzögerung R, und ω der Phasenunterschied von I, I' und deshalb auch von J, J', wegen Aehnlichkeit der beiden Diffractionen; dann können wir die Phasen der vier Vibrationen ausdrücken respective durch $\vartheta+\chi+\omega$, $\vartheta+\chi$, $\vartheta+\omega$, ϑ. Hängen wir, gröfserer Deutlichkeit halber, den Symbolen der Diffractionen die Phasen an, so können wir die Resultante sämmtlicher vier Vibrationen ausdrücken durch:

$$(I_{\vartheta+\chi+\omega}+I'_{\vartheta+\chi})+(J_{\vartheta+\omega}+J'_{\vartheta}).$$

Wegen Aehnlichkeit der beiden Diffractionen können überdiefs die Coëfficienten der beiden Vibrationen I und J und ebenso die Vibrationen I' und J', als einander gleich angenommen werden. Wahr ist's, dafs die Diffraction, wegen der endlichen Dicke des Glases, in verschiedenen Abständen von der Lichtquelle stattfindet; allein der Abstandsunterschied ist im Vergleich zu jedem der absoluten Abstände eine kleine Gröfse von der Ordnung t, die vernachlässigt werden kann. Folglich gehören die beiden Resultante $I+I'$ und $J+J'$ zu einem Diffractionsring gleicher Art und sind in nichts als der Phase verschieden, die bei der erstern um χ gröfser ist als bei der letztern. Mithin erfolgen die beiden Arten von Interferenz unabhängig von einander. Freilich haben wir bei den vorstehenden Schlüssen nur zwei interferirende Bündel I und I' betrachtet, und bei Diffractions-

Digitized by Google

berechnungen kommt die Resultante einer Unzahl von Bündeln in Betracht. Allein dasselbe Räsonnement würde auch stichhaltig seyn, wäre die Anzahl der Bündel I, I', I''... und die der entsprechenden J, J', J''...

35. Wenn ein unregelmäfsiges Pulver oder Etwas der Art zum Zerstreuen des Lichts gebraucht wird, so sind keine Diffractionsringe sichtbar, weil ein gegebener Punkt M in der Ebene der Ringe zu einem Diffractionsringe der einen Art, entsprechend einem gewissen Staubtheilchen, gehören würde und zugleich zu einem Diffractionsring der anderen Art von einem anderen Staubtheilchen; und daher wird nichts gesehen als die den dicken Platten angehörigen Interferenzringe. Allein wenn Lycopodium angewandt wird, sieht man zugleich die Lycopodiumringe und die Interferenzringe. Die ersteren liegen immer, wie es seyn mufs, symmetrisch ringsum das Bild, weil sie nur von dem Diffractionswinkel abhängen, welcher für alle Punkte eines um L_3, als Centrum, beschriebenen Kreises derselbe ist. Dadurch unterscheiden sie sich zugleich von den letzteren, deren Centrum auf halbem Wege zwischen dem Lichtpunkt und seinem Bilde liegt. Als ich etwas Lycopodium auf einen Hohlspiegel streute und eine kleine Flamme dem Krümmungsmittelpunkte nahe stellte, seitwärts in solchem Abstande, dafs die beiden Ringsysteme einander schnitten, fand ich wirklich, dafs jegliche Farbe, die in dem aufserhalb des Interferenz-Systems liegenden Theil eines Lycopodiumringes erschien, in dem letzteren System auf dem ganzen übrigen Theil eines um das Bild beschriebenen Kreises vorwaltete. Ward die Flamme in die Axe gestellt, so kam eine abnorme Ungleichheit in den Glanz der Ringe des Interferenz-Systems stark zum Vorschein. Diese Ungleichheit entsprach, wie leicht zu ersehen, den Abwechslungen der Intensität im Lycopodium-System.

36. Kehren wir nun zu dem allgemeinen Fall zurück, wo die Lage des Lichtpunkts und des Auges als irgend welche, entweder in der Axe oder nicht weit aufser derselben, vorausgesetzt wird.

Die

Digitized by Google

Die Gleichungen der Linien PL_3, PE sind:

$$\frac{\xi-a_3}{a_3-x}=\frac{\eta-b_3}{b_3-y}=\frac{\zeta-c_3}{c_3}$$

$$\frac{\xi-f}{f-x}=\frac{\eta-g}{g-y}=\frac{\zeta-h}{h}.$$

Der kleine Winkel L_3PE werde auf die Ebenen der xz und zy projicirt, und α, β seyen die Projectionen, gemessen positiv gegen x, y, und von PL_3 gegen PE. Die vorherigen Gleichungen geben:

$$a=\frac{x-a_3}{c_3}-\frac{x-f}{h}.$$

welche, wenn a_3 und c_3 in Gliedern von a und c ausgedrückt werden, wird:

$$a=\left(\frac{2}{\varrho}-\frac{1}{c}-\frac{1}{h}\right)x+\frac{a}{c}+\frac{f}{h} \quad (36).$$

Sind α' und β' die Projectionen des Diffractionswinkels LPE_3 (wo E_3 das Bild des Auges bezeichnet) so können wir α' und β' aus α und β finden, wenn wir a, b, c gegen f, g, h vertauschen und das Zeichen wechseln. Aendern wir nun das Zeichen der entstehenden Ausdrücke, um der Reflexion rückwärts zu entsprechen und so die Umstände der beiden Diffractionen zu vergleichen, so werden wir genau dieselben Ausdrücke wie zuerst erhalten, da (36) und der entsprechende Ausdruck, welcher β giebt, unverändert bleiben, wenn a, b, c gegen f, g, h vertauscht werden. Mithin finden die beiden Diffractionen in dem allgemeinen Fall und in dem zuerst betrachteten besonderen ganz unter denselben Umständen statt, und deshalb werden die Interferenzringe von den Unregelmäfsigkeiten die etwa die Diffractionsweise herbeiführen mag, nicht afficirt. Würde überdiefs die Diffraction, wie bei dem Lycopodium, mit einem gewissen Grade von Regelmäfsigkeit geschehen, so dafs der vereinte Effect aller Theilchen, welche Licht in solcher Richtung in das Auge senden, dafs es zu einem gegebenen Punkt der Netzhaut gebracht werden kann, Ringe oder Fransen hervorbringt, so würden

Digitized by Google

die Diffractionsringe und die Interferenzringe unabhängig von einander gesehen werden [1]).

37. Ist δ der kleine Diffractionswinkel, so ist $\delta^2 = \alpha^2 + \beta^2$, wornach aus (36) und der andern Gleichung, die der Symmetrie nach hingeschrieben werden kann:

$$\left.\begin{aligned}\delta^2 = &\left[\left(\frac{2}{\varrho}-\frac{1}{c}-\frac{1}{h}\right)x+\frac{a}{c}+\frac{f}{h}\right]^2\\ &+\left[\left(\frac{2}{\varrho}-\frac{1}{c}-\frac{1}{h}\right)y+\frac{b}{c}+\frac{g}{h}\right]^2\end{aligned}\right\} \quad \ldots (37).$$

Folglich bilden die Orte der Punkte, für welche der Diffractionswinkel gegebene Werthe besitzt, ein System von concentrischen Kreisen. Aus (29) sehen wir, dafs die Coordinaten des Centrums des Systems ξ_1 und η_1 sind, dafs also das Centrum in dem Punkte liegt, in welchem der Spiegel geschnitten wird von der Linie, die das Auge mit dem Bilde des Lichtpunkts verbindet. Diefs Resultat hätte voraus gesehen werden können, da δ nur für regelmäfsig gebrochenes Licht verschwindet, und dieses tritt in das Auge nur in Richtung der Linie, die das Auge und das Bild verbindet. Führt man die Coordinaten ξ_1 und η_1 in die Gleichung (37) ein, so können wir dieselbe unter die Formel bringen:

$$\delta^2 = \left(\frac{1}{h}+\frac{1}{c}-\frac{2}{\varrho}\right)^2\left\{(x-\xi_1)^2+(y-\eta_1)^2\right\} \quad (38).$$

Da die Diffraction sehr spärlich wird, wenn der Diffractionswinkel eine bedeutende Gröfse erlangt, so folgt, dafs die Interferenzringe bei beträchtlichem Winkelabstand

1) Aus einigen rohen Versuchen, welche ich selbst mit Gaze, die vor einem gläsernen Hohlspiegel mit reiner Oberfläche ausgespannt ward, angestellt habe, bin ich geneigt zu glauben, dafs die quadratischen Ringe, welche, wie erwähnt, der Herzog von Chaulnes bei Versuchen von Musselin beobachtete, herrühren von einer Combination der Farbenringe dicker Platten und den Erscheinungen, die ein Kreuzgitter erzeugt. Wenn dem so ist, würde die Unabhängigkeit der beiden Systeme dargethan werden, wenn man den Spiegel etwas neigte; dann würde das letztere System das Bild zu seinem Mittelpunkt gehabt haben, das erstere dagegen seinen Mittelpunkt in einem Punkt, der zwischen dem Lichtpunkt und dem Bilde läge.

Digitized by Google

vom Bilde des Lichtpunktes nur schwach sind. Dieſs stimmt mit der Beobachtung. Bei dem Versuch, bei welchem eine Flamme in das Krümmungscentrum eines Hohlspiegels gebracht und darauf seitwärts bewegt wird, sind die Ringe zwar in Bezug auf die Flamme und deren Bild symmetrisch, was die Gestalt und Farben betrifft, aber nicht symmetrisch, was ihre Intensität anlangt; vielmehr sind sie an der Seite des Bildes entschieden glänzender als an der Seite der Flamme selbst. Daſs dieſs nicht bloſs von dem Schein des directen Lichts herrühre, kann man nachweisen, wenn man einen kleinen Gegenstand vor die Flamme hält, so daſs das Auge vor dem directen Lichte geschützt ist. Dann sind die Ringe, obwohl sie in der Nähe der Flamme besser als zuvor gesehen werden, doch viel schwächer als an der gegenüberstehenden Seite, wenn der Abstand der Flamme von der Axe nur einigermaſsen beträchtlich ist. Wenn, bei einem Planspiegel, der Lichtpunkt etwas weit von dem Auge liegt, so daſs die Ringe nicht aus dem Gesichtsfelde treten, können diese, aus demselben Grunde, sobald der Winkelabstand zwischen dem Lichtpunkte und seinem Bilde zu groſs ist, nicht durch ihre ganze Erstreckung verfolgt werden, sondern nur innerhalb einer mehr oder weniger beträchtlichen Strecke an der Seite des Bildes.

38. Wenn bei einem Hohlspiegel der Lichtpunkt nicht weit vom Krümmungscentrum liegt und die Ringe aus nicht zu groſser Entfernung betrachtet werden, ist der erste Factor in dem Ausdruck für δ^2 (Gleichung 38) nicht groſs, und der Diffractionswinkel wächst beim Entfernen von dem Bilde nicht rasch. Bei einem Planspiegel ist $\varrho = \infty$ und setzen wir c und h ihren Werthen in den früheren Fällen gleich, auch nur ungefähr, um die beiden Fälle bis auf die Krümmung des Spiegels einander in jeder Hinsicht gleich zu machen, so ist der erwähnte Factor, obwohl gröſser als zuvor, doch noch hinreichend klein, um δ an sehr schnellem Wachsen zu hindern, wenn man sich vom Bilde entfernt. Demgemäſs sind in beiden Fällen die Ringe

Digitized by Google

und Streifen noch bei bedeutendem Winkelabstand vom Bilde mit Lebhaftigkeit zu sehen. Allein bei einem convexen Spiegel mit bedeutender Krümmung ist ϱ negativ und nicht grofs; dann wird der Factor in dem Ausdruck für δ^2 beträchtlich und der Diffractionswinkel wächst rasch beim Entfernen vom Bilde. In der That fand ich, dafs ein solcher Spiegel sich zur Hervorbringung von Ringen oder Streifen sehr wenig eignet, in sofern gewöhnlich nur ein verhältnifsmäfsig sehr kleines Stück des Systems gesehen wird, besonders wenn das Stück in unmittelbarer Nähe des Bildes liegt.

V. *Betrachtungen über einige physische Eigenschaften der Körper; von J. A. Groshans.*

Bekanntlich kann die Ausdehnung der Flüssigkeiten näherungsweise ausgedrückt werden durch die Biot'sche Formel:

$$v = 1 + at + bt^2 + ct^3 \ldots (1).$$

Allein diese Formel ist von schwierigem Gebrauch und führt zu ermüdenden Rechnungen. Deshalb wende ich in diesem Aufsatz die Formel an:

$$v = \frac{V}{1+at} \ldots (2),$$

worin V das Volum einer Flüssigkeit bei der Temperatur T''' bezeichnet; v ist das Volum bei t Grad über oder unter T''' und a ist eine Constante, welche ich *Ausdehnungscoëfficienten* oder kurzweg *Coëfficienten* nennen werde.

T''' werde ich bald $= 0°$, bald $=$ dem Siedpunkt (E oder e) der Flüssigkeit nehmen. Nimmt man $T''' = 0°$ und $V = 1$, so wird die Formel (2):

$$v = \frac{1}{1-at} \ldots (3).$$

Die Formel (3) ist nur eine Modification der Formel (1). Verlängert man die letztere ins Unbestimmte durch Zufü-

Digitized by Google

gung der Glieder dt^4, et^5 u. s. w. und setzt $b=a^2$, $c=a^3$, $d=a^4$ . . ., so geht sie in die Formel (3) über:

Wenn man bisher noch keinen grofsen Gebrauch von der Formel (3) gemacht hat, so geschah es, weil man nicht an die Constanz des Coëfficienten a glaubte. Dennoch geht aus einigen von mir angestellten Rechnungen hervor, dafs diese Formel, wenn sie auch nicht genau die Ausdehnung der Flüssigkeit ausdrückt, doch einen Grad von Annäherung gewährt, welche die Anwendbarkeit derselben in vielen Fällen gestattet.

Die folgende Tafel enthält den Vergleich der Versuche von Pierre und von Kopp über die Ausdehnung des Alkohols mit den Resultaten der Formel (3).

Die Ausdehnung dieses Körpers kann vorgestellt werden durch die Formel:

$$v=\frac{1}{1-0{,}001083} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

a ist also $=0{,}001083$. Um Raum zu sparen sind die drei Nullen, welche vor a zu stehen kommen, in der folgenden Tafel fortgelassen:

Tafel I.

Centigrade.	Volum nach Pierre.	Werth von a.	Volum nach Kopp.	Werth von a.	Volum nach der Formel (4).	$P-K$.	$P-F$.
0°	1		1		1		
10	1,01066	1106	1,01052	1090	1,01095	+ 14	− 29
20	1,02166	1065	1,02128	1045	1,02214	+ 38	− 48
30	1,03303	1070	1,03242	1046	1,03358	+ 61	− 53
40	1,04472	1070	1,04404	1050	1,04528	+ 68	− 56
50	1,05689	1076	1,05623	1066	1,05725	+ 66	− 36
60	1,06937	1081	1,06910	1076	1,06949	+ 27	− 12
70	1,08226	1085	1,08278	1093	1,08202	− 52	+ 24
80	1,09556	1091	1,09735	1110	1,09485	− 79	+ 71

Die Columne $(P-K)$ enthält die Unterschiede der Volume nach Pierre und Kopp. Die Summe dieser Unterschiede ist $274-131=143$.

Die Columne $(P-F)$ enthält die Unterschiede der Volume nach Pierre und der Formel (4); die Summe derselben ist $-234+95=-139$.

Digitized by Google

Aus diesen beiden Columnen folgt, dafs die Formel sich mehr den Resultaten von Pierre, als denen von Kopp nähert.

Die folgenden Tafeln II und III enthalten die Resultate der Versuche von Pierre über die Ausdehnung des bei 160°,3 siedenden schwefligsauren Aethers und des bei 175°,3 siedenden Bromphosphors. In diesen Tafeln ist das Volum bei *E*, dem Siedpunkt, gleich 10000 genommen. Der Coëfficient bezieht sich auf das Volum = 1 bei *E*.

Tafel II.

Schwefligsaurer Aether, $C_4H_{10}O$, SO_2.

Centigrade unter 160,3.	Volum nach Pierre	Werth von *a*.	Centigrade unter 160,3	Volum nach Pierre.	Werth von *a*.
0	10000				
10	9876	0,001255	90	9015	0,001214
20	9763	1213	100	8918	1213
30	9648	1216	110	8823	1212
40	9536	1216	120	8731	1211
50	9426	1218	130	8641	1210
60	9320	1216	140	8553	1208
70	9215	1217	150	8466	1208
80	9114	1216	160	8382	1218

Tafel III.

Bromphosphor, PBr_3.

Centigrade unter 175,3.	Volum nach Pierre.	Werth von *a*.	Centigrade unter 175,3.	Volum nach Pierre.	Werth von *a*.
0	10000				
10	9903	0,0009795	60	9441	0,0009868
20	9807	9891	70	9355	9982
30	9712	9885	80	9267	9887
40	9621	9848	90	9182	9899
50	9530	9864	100	9100	9888

Die beiden Tafeln zeigen, dafs der Werth von *a* für diese Körper fast gleich ist bei allen Temperaturen.

Es ist nothwendig, den Coëfficienten durch Zeichen zu unterscheiden, je nachdem er sich auf das Volum bei 0°

Digitized by Google

oder bei E, dem Siedpunkt, bezieht. Wenn $T''=0$, sey K der Coëfficient, und für $T''=E$ sey er Q. Diese beiden Coëfficienten sind durch die Formeln verknüpft:

$$K=\frac{1}{\frac{1}{Q}+E} \quad \ldots (5), \qquad Q=\frac{1}{\frac{1}{K}-E} \quad \ldots (6).$$

Man hat von Zeit zu Zeit beobachtet, dafs bei gewissen Körpern z. B. bei den mit dem Terpenthinöl isomeren Oelen, die Ausdehnungen gleich zu seyn scheinen, wenn diese Körper von Temperaturen, die der Spannung p entsprechen, zu Temperaturen übergehen, die der Spannung $p+p'$ entsprechen. Diefs geht auch aus meinen Formeln hervor.

Hier stellt sich indefs eine Schwierigkeit ein. Es gab bisher, zur Berechnung der *entsprechenden Temperaturen*, keine andere Formel als die von Dalton, deren Ungenauigkeit längst erkannt ist.

Ich werde mich daher in diesem Aufsatze der Formel bedienen, die ich in diesen Annalen Bd. LXXVIII. S. 112 und Ergänzungsbd. III. S. 146 vorgeschlagen.

Es seyen irgend zwei Körper A und B, die bei E und e sieden, sey ferner T' eine Temperatur von A, die der Temperatur T'' von B entspricht; sey auch 273 durch m bezeichnet. Dann hat man die Formel:

$$\frac{m+E}{m+e}=\frac{m+T'}{m+T''} \quad \ldots (7).$$

Diese Formel scheint mir denselben Grad von Genauigkeit darzubieten, als die, welche das Mariotte'sche und das Gay-Lussac'sche Gesetz ausdrücken.

Hr. Clausius, indem er (diese Ann. Bd. 72, S. 124) einer von mir (diese Ann. Bd. 78, S. 112) vorgeschlagenen, der Formel (7) analogen, Formel erwähnt, bemerkt dafs sie implicite das Gesetz einschliefse:

» *Wenn man alle Temperaturen von* $-273°$ *C. ab zählt, so sind für irgend zwei Flüssigkeiten alle entsprechenden Temperaturen proportional.* «

Er bemerkt überdiefs, dafs Faraday eine analoge Idee

Digitized by Google

ausgesprochen habe, ohne sie in eine Formel zu übersetzen.

Hr. Clausius setzt noch hinzu, die Art, wie ich die Formel aufgestellt habe, lasse viel zu wünschen übrig, bemerkend:

»Obwohl diefs Gesetz an sich, wenigstens als angenähertes, viel Wahrscheinlichkeit für sich hat, und auch durch seine Uebereinstimmung mit den experimentellen Untersuchungen von Faraday und Avogadro unzweifelhaft mehr empfohlen wird als das Dalton'sche ....«

Was die Aussprüche Faraday's über diesen Gegenstand betrifft, so waren sie mir unbekannt; indefs giebt dieser Umstand dem erwähnten Gesetze viele Wahrscheinlichkeit.

Was die Aufstellungsweise der Formel (7) betrifft, so ist sie die nothwendige Folge einer von mir gemachten Hypothese, der nämlich: dafs zwischen den Dichtigkeiten der Dämpfe (bei $0^m,76$ und bei E) und der atomistischen Zusammensetzung derselben einfache Verhältnisse bestehen. Am Schlusse dieses Aufsatzes werde ich auf diese Hypothese zurückkommen und zeigen, dafs diese Verhältnisse bei einer so grofsen Zahl von Körpern vorkommen, dafs es schwierig ist, alle von mir beobachteten Uebereinstimmungen dem Zufall zuzuschreiben.

Es giebt also, wie eben gesagt, Körper deren Ausdehnungen unter einander vergleichbar sind. Man könnte diese Körper unter einer gemeinschaftlichen Benennung vereinigen, indem man sie *Körper, gehörig zu gleichem Ausdehnungssystem* nennte.

Im Allgemeinen gehören zu gleichem Ausdehnungssystem:

1) die Körper von *gleicher Ausdehnung* } (Ergänzbd. III.
2) die Körper von analoger Zusammensetzung } S. 146).
3) die Verbindungen der Säuren mit dem Aethyloxyde.

Man kann also für *alle* Flüssigkeiten folgendes Gesetz aufstellen:

Zwischen zwei, den Druken P und *P' entsprechenden Tem-*

Digitized by Google

peraturen sind die Ausdehnungen gleich bei allen Körpern eines selben Systems.

Diefs geht aus folgenden Rechnungen hervor:

Seyen A und B zwei Körper, die zu gleichem System gehören, und bei E und e sieden.

Gesetzt diese Körper seyen erkaltet, A um T Grade unterhalb E, und B um t Grade unterhalb e, und zwar seyen $(E-T)$ und $(e-t)$ zwei entsprechende Temperaturen.

Seyen ferner die Coëfficienten ausgedrückt, für A durch K (wo $T''=0^{o}$) und Q (wo $T''=E$), für B durch k (wo $T'''=0^{o}$) und q (wo $T'''=e$).

Zuvörderst hat man zwei Formeln, analog denen (5) und (6)

$$k=\frac{1}{\frac{1}{q}+e} \quad \ldots (8); \qquad q=\frac{1}{\frac{1}{k}-e} \quad \ldots (9).$$

Die Ausdehnung (d. h. die Zusammenziehung oder negative Ausdehnung) wird also, zwischen diesen beiden entsprechenden Temperaturen und den Temperaturen E und e ausgedrückt seyn durch die Formeln:

$$\text{Körper } A. \qquad v=\frac{1}{1+TQ} \quad \ldots (10); \qquad \text{Körper } B. \quad v=\frac{1}{1+tq} \quad \ldots (11).$$

Nun ist nach dem erwähnten Ausdehnungsgesetz:

$$TQ=tq \quad \ldots (12).$$

Gesetzt, was weiterhin bewiesen werden wird, diese Formel bewähre sich durch die Erfahrung, so folgt aus dem durch die Formel (7) ausgedrückten Princip

$$\frac{T}{t}=\frac{m+E}{m+e} \quad \ldots (13).$$

Und aus den Formeln (12) und (13) geht hervor:

$$\frac{Q}{q}=\frac{m+e}{m+E} \quad \ldots (14).$$

Die Coëfficienten Q und q von A und B stehen also zu einander im umgekehrten Verhältnifs der Zahlen $(m+E)$ und $(m+e)$.

Digitized by Google

Substituirt man hierauf in der Formel (14) die Formeln (6) und (9) und macht hernach:

$$\frac{m+E}{m+\frac{1}{K}}=S \quad \ldots \quad (15),$$

so erhält man die Formel:

$$e=(S-1)m+\frac{S}{k} \quad \ldots \quad (16).$$

Ich habe die Werthe von S für einige Körper berechnet; die folgende Tafel enthält die Resultate dieser Rechnung:

Tafel IV.

Körper.	Zusammensetzung.	Siedepunkt.	Volum bei t'^0. Das Volum bei $0^0=1$.	t'.	K.	S.
Aether	$C_4H_{10}O$	34,9 Kp	1,03962 Kp	25	0,001524	0,33159
»	»	35,5 P	1,04085 P	»	0,001570	0,33374
Butters. Holzäth.	$C_{10}H_{20}O_4$	95,4 Kp	1,03012 Kp	»	0,001170	0,32722
»	»	102,1 P	1,03108 P	»	0,001208	0,34023
Zinnchlorid	$SnCl_2$	115,4 »	1,02844 »	»	0,001106	0,33005
Schwefls. Aether	$C_4H_{10}O,SO_2$	160,3 »	1,02492 »	»	0,000974	0,33625
Aceton	C_3H_6O	56,3 Kp	1,02810 Kp	20	0,001366	0,32781
Buttersäure	$C_8H_{16}O_4$	157,0 »	1,02117 »	»	0,001036	0,34751
Ameiss. Aether	$C_6H_{12}O_4$	54,9 »	1,02766 »	»	0,001346	0,32948
Essigäther	$C_6H_{16}O_4$	74,3 »	1,02644 »	»	0,001288	0,33107
Butteräther	$C_{12}H_{24}O_4$	114,8 »	1,02417 »	»	0,001180	0,34624
Valerianholzäth.	$C_{12}H_{24}O_4$	116,2 »	1,02312 »	»	0,001130	0,33625
Chloramyl	$C_{10}H_{22}Cl$	101,7 P	1,1357 »	100	0,001195	0,33773
Bromamyl	$C_{10}H_{22}Br$	118,7 »	1,1208 »	»	0,001097	0,33091
Jodholzäther	C_2H_6J	43,8 »	1,03027 »	25	0,001176	0,28216
Schwef.kohlenst.	CS_2	47,9 »	1,02409 »	20	0,001176	0,28581
Alkohol	$C_4H_{12}O_2$	78,4 Kp	1,02128 »	»	0,001042	0,28582
»	»	78,3 P	1,02166 P	»	0,001060	0,28892
Aldehyd	$C_4H_8O_2$	20,8 Kp	1,03372 Kp	»	0,001347	0,28960
Fuselölalkohol	$C_{10}H_{24}O_2$	131,4 M	1,02272 M	25	0,000888	0,28935
»	»	131,1 Kp	1,01840 Kp	20	0,000905	0,29298
Holzgeist	$C_2H_8O_2$	65,5 »	1,02319 »	»	0,001135	0,29332
Jodäther	$C_4H_{10}J$	70,0 P	1,02880 P	25	0,001120	0,29434
Ameisensäure	$C_2H_4O_4$	105,3 Kp	1,02016 Kp	20	0,000988	0,29446
Bromholzäther	C_2H_6Br	13,0 P	1,01460 P	10	0,001431	0,29561
Bromaelayl	$C_4H_8Br_2$	132,6 »	1,02398 »	25	0,000921	0,29877
Chloraelayl	$C_4H_8Cl_2$	84,9 »	1,02811 »	»	0,001094	0,30153
Titanchlorid	$TiCl_2$	136,0 »	1,02373 »	»	0,000926	0,30241
Bromäther	$C_4H_{10}Br$	40,7 »	1,03363 »	»	0,001316	0,30390
Bromphosphor	PBr_3	175,3 »	1,02124 »	»	0,000832	0,30398

Digitized by Google

Körper.	Zusammensetzung	Siedepunkt.	Volum bei $t'°$. Das Volum bei $0° = 1$.	t'.	K.	S.
Chlorphosphor	PCl_3	78,3 P	1,02926 P	25	0,001137	0,30493
Chlorarsen	$AsCl_3$	133,8 »	1,02460 »	»	0,000960	0,30954
Chlorsilicum	$SiCl_3$	59,0 »	1,03265 »	»	0,001265	0,31275
Ameisenholzäth.	$C_3H_6O_4$	33,4 Kp	1,02916 Kp	20	0,001416	0,31314
Benzol (Benzin)	$C_{12}H_{12}$	80,4 »	1,02410 »	»	0,001177	0,31495
Essigsäure	$C_4H_8O_4$	117,3 »	1,02129 »	»	0,001042	0,31673
Essigholzäther	$C_6H_{12}O_4$	56,3 »	1,02710 »	»	0,001319	0,31959
Bromsilicum	$SiBr_3$	153,4 P	1,02391 P	25	0,000934	0,31752
Quecksilber	Hg	350	1,004520 R	»	0,001795	0,10661

Die Buchstaben Kp, P und M in den Columnen 3 und 4 bedeuten: Kopp, Pierre und das Mittel zwischen Beiden.

Aus dieser Tafel, wie aus der Formel (16) geht hervor, dafs S für Körper von gleichem System gleichen Werth besitzt.

Vielleicht könnte man sich der Formel (16), bedienen, um den Siedpunkt eines Körpers zu berechnen, wo man diesen Punkt nicht direct beobachten kann.

Seyen A und B zwei Körper, die (was man in einigen Fällen im Voraus wissen kann) zu gleichem Ausdehnungssystem gehören, und man kenne den Siedpunkt (E) von A, und die Dichtigkeiten von A und B bei irgend zwei Temperaturen, so wird man, wenigstens annäherungsweise, den Siedpunkt (e) von B berechnen können.

Z. B. Sey Chlorphosphor der Körper A, und Bromphosphor der Körper B. Aus der Tafel IV. findet man, dafs S für A ist $= 0{,}30493$ und k für $B = 0{,}000832$. Der Siedpunkt e für B ist also gegeben durch die Formel:

$$e = (0{,}30493 - 1)m + \frac{0{,}30493}{0{,}000832} = 176{,}6 \ldots (17).$$

Die directe Beobachtung (siehe Tafel IV) gab 175°,3.

Nimmt man ebenso für A den gewöhnlichen Aether und für B den schwefligsauren Aether, so findet man:

$$e = (0{,}33374 - 1)m + \frac{0{,}33374}{0{,}000974} = 160{,}7 \ldots (18).$$

Die directe Beobachtung gab 160°,3.

Digitized by Google

Es wäre möglich, dafs die Metalle zum Quecksilbersystem gehörten; nähme man überdiefs an, der Gang ihrer Ausdehnung änderte sich nicht durch die Liquefaction, so würde man den Siedpunkt dieser Körper berechnen können.

Obgleich diese beiden Voraussetzungen nicht geprüft werden können, und die zweite nicht einmal bei einigen Metallen wahrscheinlich ist, so habe ich es doch nicht für überflüssig gehalten, einige Rechnungen darüber anzustellen, die in der folgenden Tafel zusammengestellt sind.

Tafel V.

Metalle.	Linearer Ausdehnungscoëfficient.	Cubischer Ausdehnungscoëfficient.	e.
Platin	0,00000856 B	0,00002568	3907
Weiches Eisen	0,00001220 LL	0,00003660	2669
Wismuth	0,00001391 S	0,00004173	2311
Kupfer	0,00001717 LL	0,00005151	1826
Kapellensilber	0,00001909 »	0,00005725	1617
Indisches Zinn	0,00001937 »	0,00005811	1590
Zinn von Falmouth	0,00002173 »	0,00006519	1391
Zinn, feines	0,00002283 S	0,00006849	1312
Blei	0,00002848 »	0,00008544	1003
Zink	0,00002941 »	0,00008823	964

Diese Rechnungen sind nach folgender Formel ausgeführt

$$e=(0{,}10661-1)m+\frac{0{,}10661}{k} \quad \ldots \quad (19).$$

Von den Buchstaben in der dritten Spalte bezeichnen *B*: Borda, *S*: Smeaton und *LL*: Lavoisier und Laplace.

Das allgemeine Resultat dieser Rechnungen scheint mir dem ganz zuwider zu seyn, was wir uns von den hohen Temperaturen einbilden könnten, bei denen die Metalle schmelzen. Das Zink z. B., welches man zuweilen destillirt, würde bei 964° sieden, das fast unschmelzbare Platin dagegen bei 3907°. Der Siedpunkt des Wismuths scheint wohl zu hoch zu seyn, allein da dieses Metall sich beim

Digitized by Google

Erstarren ausdehnt, wie das Wasser, so ist die zweite der vorhergehenden Voraussetzungen nicht anwendbar auf dasselbe. Uebrigens bieten diese Resultate, isolirt genommen, nichts Zuverlässiges dar. Es verhält sich fast mit ihnen, wie mit den Hypothesen, die man zuweilen über die Phänomene des Lebens auf der Oberfläche des Himmelskörpers gemacht hat.

Aus der Formel

$$\frac{m+E}{m+\frac{1}{K}} = S \quad (15)$$

folgt die:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{S}-1\right)m+\frac{1}{S}E} \quad \ldots \quad (20).$$

Und setzt man in dieser:

$$\frac{1}{S}-1 = n \quad \ldots \quad (21),$$

so erhält man die Formel:

$$K = \frac{1}{nm+(n+1)E} \quad \ldots \quad (22).$$

Setzt man für das Aethersystem (siehe Tafel IV) $S = 0{,}33333 = \frac{1}{3}$ und für das Quecksilbersystem $S = 0{,}11111 = \frac{1}{9}$, so hat man:
für das Aethersystem:

$$K = \frac{1}{2m+3E} \quad \ldots \quad (23)$$

und für das Quecksilbersystem

$$K = \frac{1}{8m+9E} \quad \ldots \quad (24).$$

Man kann Körper voraussetzen, die zu einem dieser beiden Systeme gehörten, die bei 0° sieden würden; dann verschwände E und die beiden letzten Formeln gingen über in:

$$K = \frac{1}{2m} \quad \ldots \quad (25); \quad K = \frac{1}{8m} \quad \ldots \quad (26).$$

(Uebrigens, wenn $E = 0°$ ist, wird $K = Q$.)

Es scheint also, dafs in einigen Ausdehnungssystemen die Coëfficienten der Flüssigkeiten in einfachem Verhältnifs

Digitized by Google

zum Ausdehnungscoëfficienten der Dämpfe stehen. Bei den beiden Systemen des Aethers und des Quecksilbers wäre dieſs Verhältniſs $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{8}$.

Die Formel (22) erklärt die längst beobachtete Thatsache, daſs im Allgemeinen eine Flüssigkeit sich desto stärker ausdehnt, je niedriger ihr Siedpunkt ist; eine Thatsache, die übrigens nur bei Körpern von gleichen Systemen stattfinden kann.

Dieselbe Formel erklärt auch die groſse Ausdehnbarkeit der zum flüssigen Zustande zurückgeführten Gase, für welche E negativ wird.

Aus den Formeln (5) und (22) folgt:

$$Q = \frac{1}{(m+E)n} \quad \ldots \quad (27)$$

und aus dieser letzteren scheint man schlieſsen zu dürfen, daſs E nicht tiefer als $-m$ sinken kann, weil sonst Q unendlich würde.

Die erwähnten Formeln können, glaube ich, dazu dienen, zu beurtheilen, welchen Grad von Genauigkeit die Betrachtungen und Untersuchungen von Kopp, Schröder und Anderen über die Atomvolume haben. Obgleich z. B. das Volum des Sauerstoffs in den Metalloxyden durch eine ziemlich groſse Zahl von Versuchen und Betrachtungen zu 32 oder 33 bestimmt zu seyn scheint, so könnte man doch immer wegen der Methode, durch welche man diese Zahl bestimmte, einigen Zweifel daran hegen. In der That hat man die Atomvolume der Körper bei gleicher Temperatur verglichen, obwohl zwischen ihren respectiven Siedpunkten Abstände von mehren Hunderten von Graden vorkommen.

Indeſs läſst sich zeigen, daſs wenn die Metalle und ihre Oxyde zu dem Quecksilbersystem gehören, oder, um so mehr, wenn für diese Körper der Werth von S geringer als $\frac{1}{9}$ ist, die Atomvolume derselben bei gewöhnlicher Temperatur ungefähr in gleichem Verhältniſs stehen wie bei ihren respectiven Siedpunkten, sobald man überdieſs an-

Digitized by Google

nimmt, dafs diese Siedpunkte, wie es im Allgemeinen der Fall ist, sehr hoch seyen.

Denn nennt man das Volum eines Körpers bei E^o (das bei $0^o = 1$) Volum E, so kann diefs ausgedrückt werden durch die Formel:

$$\text{Vol. } E = \frac{1}{1 - EK} \quad \ldots \quad (28).$$

Dann kann aus der Formel:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{S} - 1\right) m + \frac{1}{S} E} \quad \ldots \quad (20)$$

hergeleitet werden

$$\frac{1}{1 - EK} = \frac{m + \frac{E}{1 - S}}{m + E} \quad \ldots \quad (29).$$

Wenn in dieser letzten Formel E unendlich grofs wird, führt sie zu dem Schlufs:

$$\text{Vol. } E = \frac{1}{1 - EK} = \frac{1}{1 - S} \quad \ldots \quad (30).$$

Für einen zum Quecksilbersystem gehörigen Körper kann Vol. E nicht übersteigen den Werth von:

$$\frac{1}{1 - S} = \frac{1}{1 - \frac{1}{5}} = 1{,}125.$$

Das Volum eines solchen Körpers bei E wird nach Umständen folgende Werthe annehmen:

Ist E:	Wird Vol. E:
1000°	1,098
2000	1,109
3000	1,111
∞	1,125.

Es steht also zu glauben, dafs der Sauerstoff in einem zum Siedpunkt gebrachten Metalloxyd ein Atomvolum von nahe $32 \times 1{,}125 = 36$ haben werde.

Der Genauigkeitsgrad der Untersuchungen über die Atomvolume wird nothwendig viel geringer seyn bei den Körpern, bei denen S einen gröfsern Werth hat und deren

Digitized by Google

Siedpunkte nicht so hoch sind. Diefs gilt im Allgemeinen von den Verbindungen der Metalle mit Chlor und Brom.

Nimmt man für diese Körper $S=0{,}30$ an, (siehe Tafel IV) so erlangt Vol. E folgende Werthe:

E.	Vol. E.	E.	Vol. E.
100	1,114	1000	1,336
200	1,181	1500	1,362
300	1,224	2000	1,377
500	1,274	∞	1,428
700	1,308		

Für diese Körper stehen also die Volume bei gewöhnlicher Temperatur nicht in demselben Verhältnifs wie bei den Siedpunkten.

Die Atomvolume zweier Körper A und B, die zu gleichem Ausdehnungssystem gehören und eine gleiche Ausdehnung und Verdichtung besitzen, stehen (wenn $Atv.\ 0°.A$ das Atomvolum von A bei 0° C., und Atv. $E.A$ das Atomvolum von A bei E bezeichnet u. s. w.) in folgendem Verhältnifs:

$$\frac{Atv.\,0°.A}{Atv.\,0°.B} = \frac{(m+E)^2}{(m+e)^2} \times \frac{K}{k} \quad \ldots \quad (31).$$

D. h. die Atomvolume von A und B bei 0° stehen im quadratischen Verhältnisse der um m erhöhten Siedtemperaturen, multiplicirt mit dem Verhältnifs der Coëfficienten K und k.

Die Formel (31) ergiebt sich durch folgendes Raisonnement: Die Thatsache der Gleichheit in der Ausdehnung und Verdichtung drückt sich aus durch die Formel:

$$\frac{Atv.\,E.A}{Atv.\,e.B} = \frac{m+E}{m+e} \quad \ldots \quad (32).$$

Dann hat man aus den Formeln (2) und (3)

$$Atv.\,E.A = \frac{Atv.\,0°.A}{1-EK} \quad \ldots \quad (33)$$

und

$$Atv.\,e.B = \frac{Atv.\,0°.B}{1-ek} \quad \ldots \quad (34).$$

Durch Combination von (33) und (34) erhält man die Formel:

Digitized by Google

$$\frac{Atv.0^{o}.A}{Atv.0^{o}.B} = \frac{Atv.E.A}{Atv.eB} \times \frac{1-EK}{1-ek} \quad \ldots \quad (35).$$

Substituirt man in (35)

$$\frac{Atv.E.A}{Atv.eB} = \frac{m+E}{m+e} \quad \ldots \quad (32),$$

so bleibt zu beweisen, dafs sey:

$$\frac{1-EK}{1-ek} = \frac{m+E}{m+e} \times \frac{K}{k} \quad \ldots \quad (36),$$

was so geschehen kann:

$$1-EK = K\left(\frac{1}{K}-E\right) \quad \ldots \quad (37)$$

und weil nach Formel (6)

$$\frac{1}{K}-E = \frac{1}{Q}$$

so hat man

$$1-EK = \frac{K}{Q} \quad \ldots \quad (38)$$

und ebenso

$$1-ek = \frac{k}{q}, \quad \ldots \quad (39)$$

und da nach Formel (14)

$$\frac{Q}{q} = \frac{m+e}{m+E}$$

so kann man folgern

$$\frac{1-EK}{1-ek} = \frac{q}{Q} \times \frac{K}{k} = \frac{m+E}{m+e} \times \frac{K}{k} \quad \ldots \quad (36).$$

Nehmen wir wiederum die Formel (32):

$$\frac{Atv.E.A}{Atv.e.B} = \frac{m+E}{m+e}.$$

Diese Formel zeigt sogleich eine grofse Analogie zwischen den Atomvolumen der flüssigen Körper und denen der gasigen oder dampfförmigen.

Gesetzt die folgenden Körper wären in Dampfgestalt bei $0^{m},70$ und E und man multiplicirte die Atomvolume ihrer Dämpfe mit dem Bruch $\frac{m}{m+E}$, so würde man folgende Gruppen bilden können:

Digitized by Google

Wasserstoff	1	Volum
Stickstoff	1	»
Sauerstoff	$\frac{1}{2}$	»
Phosphor	$\frac{1}{2}$	»
Schwefel	$\frac{1}{6}$	»

Nichts hindert, dieselbe Operation bei den flüssigen Atomvolumen zu vollziehen. Ich habe diefs in folgender Tafel dargethan:

Tafel VI.

Körper.	Siedpunkte.	Beobachtete flüssige Volume.	Reducirte Volume.
Aether	35,5	664	588
Schwefligsaurer Aether	160,3	930	586
Zinnchlorid	115,4	827	581
Chloräther	11,0	890	855
Bromäther	40,7	978	851
Jodäther	70,0	1075	855
Wasser	100	117	86
Quecksilber	350	98	43

Die *reducirten Volume*, Columne 4, bedeuten die Volume, welche fingirte Körper bei 0° haben würden, wenn sie bei 0° siedeten und zu denselben Ausdehnungssystemen gehörten, wie die Körper der Columne 1. Die reducirten Volume sind erhalten, in dem man das bei E beobachtete flüssige Volum mit dem Bruch $\frac{m}{m+E}$ multiplicirte.

Vergleicht man die durch die *reducirten Volume* der flüssigen Körper gebildeten Gruppen mit den durch die reducirten Volume der gasigen Körper gebildeten, so kann man folgende Verschiedenheiten bemerken:

1) Dafs die Anzahl der Gruppen für die flüssigen Volume weit gröfser zu seyn scheint als für die gasigen Volume.

2) Dafs die einfachen Verhältnisse zwischen den verschiedenen Gruppen (der Flüssigkeiten) nicht immer sehr scharf oder nicht wahrnehmbar sind, was von der Verschiedenheit der Ausdehnungssysteme herrührt.

Digitized by Google

Der Kohlensäure-Aether kocht bei 125°,5, sein Atomvolum bei 19° C. ist gleich $\frac{737,5}{0,975} = 756,4$. Nach der Formel (23) ist also das Volum bei $E = 874,1$ und diefs giebt ein reducirtes Volum $= 600,0$.

Der Oxaläther siedet bei 184°, sein Atomvolum bei 7° ist $= \frac{912,5}{1,0929} = 834,9$. Das Volum bei E ist also $= 912,4$ und diefs giebt ein reducirtes Volum $= 545,5$.

Da die Bestimmungen dieser beiden Körper bei 19° C. und bei 7° schon alt sind, und jede derselben auf einem einzigen Versuch beruht, so wird es wahrscheinlich, dafs beide Körper eine gleiche Ausdehnung besitzen wie der gewöhnliche Aether, dessen reducirtes Volum $= 588$ ist (siehe Tafel VI).

Ich werde also annehmen, dafs die drei Körper: der gemeine Aether, der Kohlensäureäther und der Oxaläther, eine gleiche Ausdehnung haben, wie sie eine gleiche Condensation haben und zu gleichem Ausdehnungssystem gehören. Sie alle enthalten einen selben Körper, $C_4H_{10}O$, und es herrscht also unter ihnen in jeder Beziehung eine grofse Analogie.

Berechnet man die Dichte dieser Körper als Dampf bei 0,76 und E, dabei die Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac als gültig angesehen, auch $O = \frac{1}{2}$ und $a = 0,00366$ angenommen, so erhält man:

$$C_4H_{10}O \qquad \frac{4,625}{1+35,5.a} = 4,093$$

$$C_4H_{10}O,\ CO_2 \qquad \frac{7,375}{1+125,5.a} = 5,035$$

$$C_4H_{10}O,\ C_2O_3 \qquad \frac{9,125}{1+184.a} = 5,453.$$

Die drei Zahlen 4,093, 5,035 und 5,453 verhalten sich wie 15, 18,4 und 19,9; und andererseits werden die Mengen der Atome C, H, O in diesen Körpern ausgedrückt durch 15, 18 und 20. Möglicherweise wäre diese Coïncidenz nicht zufällig, vielmehr könnten diese beiden Verhältnisse von einander abhängig seyn. Und diefs wird um so wahrscheinlicher, wenn man erwägt, dafs die Anzahl der

Digitized by Google

Atome im Aether und im Wasser durch das Verhältnifs $\frac{15}{3}=5$ ausgedrückt wird, und die Dichtigkeiten der Dämpfe beider Körper (bei E und $0^m,76$) im Verhältnifs $\frac{4,095}{0,823}=4,9$ stehen.

Es giebt viele Körper $pC+qH_1+rO$, deren Siedpunkt durch die Hypothese erklärt werden kann, dafs die Dampfdichte bei $0^m,76$ und E sey $=p+q+r$, d. h. deren beobachteter Siedpunkt zusammenfällt mit dem berechnet nach der Formel:

$$E=-m+(m+100)\sqrt[3(p+q+r)]{a} \quad \ldots \quad (40),$$

in welcher $(m+100)$ der Siedpunkt des Wassers und a das Atomgewicht des Körpers $pC+qH_1+rO$ ist ($H_2=1$).

Die folgende Tafel enthält mehre dieser Körper:

Tafel IV.

Körper.	Zusammensetzung C.	H_1.	O.	E. berech.	E. beob.	Beobachter.
Wasser		2	1	100	100	
Toluöl	14	16		108,3	109	109 bis 110,5 Noad
Anisöl	14	16	2	146,6	152	Cahours
Brenzschleimäther	14	16	6	210,6	209	208 bis 210 Malaguti
Cinnamin	16	16		131,1	137	135 bis 140 Schröder's Angabe
Salicyls. Methyl	16	16	6	224,4	220	Regnaults Angabe
Gaultherinöl	16	16	6	»	»	Cahours
Benzoës. Methyl	16	16	4	196,7	198,5	Mitscherlich's Angabe
Aethyl	4	10		− 15,5	− 14,0	+3 bei $2\frac{1}{4}$ atm. Frankland
Aether	4	10	1	33,6	35,5	
Kohlens. Aether	5	10	3	134,5	125,5	Dumas
Oxalsaurer Aether	6	10	4	180,8	182	180 bis 184 verschiedene Beobachter
Metaceton	6	10	1	85,3	84	Regnault's Angabe
Holzgeist	4	8	2	58,3	65,5	
Butters. Methyl	10	20	4	100	98	95,5 Kopp 102 Pierre
Spirol	12	12	2	176,5	187	187 bis 188 Laurent
Benzoësäure	14	12	2	232,7	239	Mitscherlich's Angabe
Coumarin	18	12	4	261,0	270	Regnault's Angabe
Camphron	30	44	1	75,1	75	Fremy
Pseudoessigsäure od. Propionsäure	6	12	4	145,2	140	Liebig und Kopp's Jahresbericht 1848 und 1849

Digitized by Google

Der Siedpunkt des Aethyls (C_4H_{10}) = 14,0 ist berechnet nach dem Versuch von Frankland, welcher bei + 3° C. eine Spannung von $2\frac{1}{3}$ Atmosphären gefunden hat, und nach der Formel (7), unter der Annahme, dafs beim Wasserdampf die Temperatur 124,6 einer Spannung von $2\frac{1}{3}$ Atmosphären entspreche.

Zu bemerken ist, dafs die Körper der Tafel VII nur dann eine Dichtigkeit $= p + q + r$ haben, wenn sie zu zwei Volumen verdichtet sind. Bei denen die zu vier Volumen verdichtet sind, ist die Dichte bei E und $0^m,76 = \frac{1}{2}(p + q + r)$.

Drückt man allgemein die Dampfdichte der Körper $pC + qH_1 + rO$ bei $0^m,76$ und E durch $n(p + q + r)$ aus, und nimmt als Einheit $\frac{1}{n}$ der Dichte des Wasserdampfs bei 100° C. und $0^m,76$, so findet man sehr oft $n = \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}$ oder sonst gleich einem einfachen Verhältnifs.

Es ist bemerkenswerth, dafs die Formel (40) auf den Kohlensäure- und den Oxaläther pafst, nicht aber auf den Essig- und den Ameisenäther. Ich bemerke zuvörderst, dafs die Verdichtung der beiden ersten Aether von zwei Volumen ist, die der beiden letzteren aber von vier. Die *Ausdehnung* ist beim gemeinen Aether, beim Kohlensäure- und Oxaläther dieselbe, gleich 237, die Ausdehnung des Essigäthers aber 264, und die des Ameisenäthers 317. Indefs giebt es eine merkwürdige Coïncidenz zwischen der eben erwähnten Zahl n und dem Verhältnifs ihrer *reducirten Atomenvolume,* verglichen mit dem des gemeinen Aethers.

In der That nimmt man für den Essigäther $C_8H_{16}O_4$ an: $E = 74,3$ (Kopp), so findet man die Dichte, statt 28, gleich $\frac{8}{16} \times 28 = 15,75$. Das flüssige Volumen bei E ist nach Kopp = 1208. Das reducirte Volum ist also 1056. Das des gemeinen Aethers (siehe Tafel VI) ist 588 und $\frac{588}{1055} = \frac{9}{16,1}$.

Ebenso findet man für den Ameisenäther $C_6H_{12}O_4$, wenn man $E = 54,9$ (Kopp) und das Volum bei $E = 1059$ (Kopp) annimmt, das reducirte Volum = 882. Die Dichte,

Digitized by Google

die nach der Hypothese $= 6 + 12 + 4 = 22$ seyn müfste, ergiebt sich durch den Versuch $= 14$. Und:

$$n = \frac{14}{22} = 0{,}63; \quad \frac{588}{882} = 0{,}66.$$

Bei den Dämpfen ergiebt sich also die Ausdehnung (zufolge der Hypothese) aus dem Vergleich der *reducirten Volume* der Flüssigkeiten. Da diese Verhältnisse von einander unabhängig sind, da das erstere sich auf eine Hypothese stützt, und das letztere auf Beobachtungen beruht, sie aber dennoch übereinstimmen, so mufs dadurch die Wahrscheinlichkeit der Hypothese erhöht werden.

Ich glaube noch bemerkt zu haben, dafs das Verhältnifs n zuweilen einen gleichen Werth hat bei allen Körpern einer selben Gruppe.

Wenn man so z. B. für die folgenden Körper eine Verdichtung von vier Volume annimmt, und die beobachteten Siedpunkte, von denen viele einer Bestätigung und wahrscheinlich einer Berichtigung bedürfen, anwendet, so findet man nachstehende Resultate:

Tafel VIII.

Körper.	Zusammensetzung.	Siedpunkte.	Dichtigkeit ber.	Dichtigkeit beob.	Verhältnifs n.
Amyläther	$C_{10}H_{22}O$	110	33	12,8	0,38
Amyloxydhydrat	$C_{10}H_{22}O, H_2O$	131	36	13,5	0,37
Oxalsaurer Amyläther	$C_{10}H_{22}O, C_2O_3$	260	38	13,4	0,35
Kohlenstoffs. Amyläther	$C_{10}H_{22}O, CO_2$	224	36	12,6	0,35
Amylsäure	$C_{10}H_{18}O_3, H_2O$	175	34	14,2	0,41

Der Aether $C_4H_{10}O$ hat eine Dichte $= 15$; das Aethyl C_4H_{10} eine $= 14$. Die beiden Körper sind um ein Atom Sauerstoff verschieden und ihre Dichtigkeit um eine Einheit.

Dieselben Unterschiede lassen sich bei den Säuren SO_2 und SO_3 bemerken, deren Dichten 15 und 16 sind, wenn man als Siedpunkt $-8°$ und $+37°{,}8$ annimmt.

Rotterdam, den 30. Nov. 1851.

Digitized by Google

VI. *Ueber die Höhe der Gipfel des Monte-Rosa; von Adolph Schlagintweit und Hermann Schlagintweit.*

Es ist für die orographische Structur des Monte-Rosa sehr charakteristisch, dafs derselbe aus einer Reihe von neun Gipfeln besteht, welche in einem langen und sehr hohen Kamm vereinigt sind; derselbe ist vom Weifsthorpafs und vom *Col Delle Piscie* begränzt [1]); seine mittlere Richtung geht von Norden nach Süden. Die Höhe von mehreren Gipfeln war schon durch frühere trigonometrische oder barometrische Messungen bestimmt. Wir selbst haben mit dem Barometer die zwei Pässe gemessen, welche den Kamm begränzen, und unter den Gipfeln die Vincentpyramide und die Höchste Spitze. Es sey uns erlaubt beizufügen, dafs bisher noch keine barometrischen Beobachtungen auf der letzteren Spitze angestellt worden waren. Wir erreichten dieselbe von der Nordostseite, indem wir von Zermatt im Wallis ausgingen.

Wir werden zuerst das Detail der Beobachtungen und Berechnungen für die Höchste Spitze vorlegen und daran die Resultate anreihen, welche wir für die Erhebung der übrigen Gipfel erhalten haben.

1) Wie früher mitgetheilt wurde (Ann. Bd. LXXXVI, S. 583 u. 584) ist das Weifsthor, der höchste Pafs in den Alpen, 3618 M., 11138 P. F. Der Col delle Piscie liegt unmittelbar neben der Vincenthütte, deren Höhe 3162 M., 9734 P. F. ist.

Digitized by Google

Höchste Spitze des Monte-Rosa.

Nördl. Breite 45° 55′ 58″. Oestl. Länge von Paris 5° 31′ 47″.

Barometrische Beobachtungen am 22. August 1851.

A. 22. Aug. 12^h 20′ p. m. Barom. red. 438,18 M. M. Lufttemp. — 5,1° C. Befeuchtetes Therm. — 5,5° C. Relative Feuchtigkeit 90.

	Bern.	Genf.	St. Bernhard.	Aosta.	Mailand.	Turin.
Nördl. Breite	46° 57′	46° 12′	45° 50′	45° 44′	45° 28′	45° 4′
Bar. (red.)	716,1 M. M.	728,11 M. M.	569,98 M. M.	711,33 M. M.	750,58 M. M.	739,23 M. M.
Lufttemperatur	20,1° C.	20,2° C.	13,2° C.	23,2° C.	24,2° C.	27,3° C.
Summe der Temp.	15,0° C. = 12,0° R.	15,1° C. = 12,1° R.	8,1° C. = 6,5° R.	18,1° C. = 14,5° R.	19,1° C. = 15,3° R.	22,2° C. = 17,8° R.
Befeuchtetes Therm.	—	16,1° C.	—	—	19,1° C.	—
Haarhygrometer	—	—	78°	68°	—	—
Relative Feuchtigkeit	57 Mittl. F. 73,5	63 Mittl. F. 76,5	58 Mittl. F. 74	46 Mittl. F. 68	60 Mittl. F. 75	57 Mittl. F. 73,5
log. b	2,85497	2,86220	2,75586	2,85207	2,87540	2,86878
log. b'	2,64165	2,64165	2,64165	2,64165	2,64165	2,64165
u (log. b — log b')	0,21332	0,22055	0,11421	0,21042	0,23375	0,22713
log. u	9,32903	9,34351	9,05770	9,32309	9,36875	9,35627
A	4,27726	4,27737	4,27141	4,27990	4,28073	4,28335
corr. lat.	— 6	— 4	— 4	— 3	— 3	— 2
	3,60623	3,62084	3,32907	3,60296	3,64945	3,63960
corr. grav.	27	28	15	27	30	30
log. der Meter	3,60650	3,62112	3,32922	3,60323	3,64975	3,63990
	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833
log. der Par. F.	4,09483	4,10945	3,81755	4,09156	4,13808	4,12823

	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.
Relative Höhe	4041,1	4179,5	2134,1	4010,8	4464,3	4364,2
Höhe der unteren Stat.	570,8	407,0	2473,0	614,0	147,1	273,0
Localcorr.	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Feuchtigkeitscorr.	15,2	16,5	5,9	15,6	20,5	21,6
Absolute Höhe	4634,2	4610,1	4620,1	4647,5	4639,0	4665,9

	Par. Fufs.	Par. Fufs.	Par. Fufs.	Par. Fufs.	Par. Fufs.	Par. Fufs.
Relative Höhe	12440,3	12866,2	6569,8	12347,0	13743,0	13434,8
Höhe der unteren Stat.	1757,2	1252,9	7613,0	1890,2	452,8	840,4
Localcorr.	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Feuchtigkeitscorr.	46,9	50,9	18,2	48,0	63,0	66,6
Absolute Höhe	14266,4	14192,0	14223,0	14307,2	14280,8	14363,8

Mittel 4636,13 Meter. 14272,2 Par. Fufs.

B. 22. Aug. 1h p. m. Bar. red. 437,99 M. M. Lufttemperatur — 4,8° B. Befeuchtetes Therm. — 5,2° C.
Relative Feuchtigkeit 90.

Barom. (red.)	716,0 M. M.	727,89 M. M.	569,99 M. M.	711,46 M. M.	750,32 M. M.	738,97 M. M.
Lufttemperatur	20,5° C.	20,7° C.	13,3° C.	23,4° C.	24,9° C.	27,4° C.
Summe der Temp.	15,7° C.=12,6° R.	15,9° C.=12,7° R.	8,5° C.=6,8° R.	18,6° C.=14,9° R.	20,1° C.=16,1° R.	22,6° C.=18,1° R.
Befeuchtetes Therm.	—	16,4° C.	—	—	19,9° C.	—
Haarhygrometer	—	—	78°	69°	—	—
Relative Feuchtigkeit	57 Mittl. F. 73,5	62 Mittl. F. 76	58 Mittl. F. 74	47 Mittl. F. 68,5	61 Mittl. F. 75,5	57 Mittl. F. 73,5
log. *b*	2,85491	2,86207	2,75587	2,85215	2,87525	2,86863
log. *b'*	2,64146	2,64146	2,64146	2,64146	2,64146	2,64146
u (log. *b* — log. *b'*)	0,21345	0,22061	0,11441	0,21069	0,23379	0,22717

Digitized by Google

	Bern.	Genf.	St. Bernhard.	Aosta.	Mailand.	Turin.
log. *u*	9,32930	9,34363	9,05846	9,32364	9,36883	9,35635
A	4,27790	4,27800	4,27173	4,28032	4,28157	4,28366
corr. lat.	— 6	— 4	— 4	— 3	— 3	— 2
	3,60714	3,62159	3,33015	3,60393	2,65037	3,63999
corr. grav.	27	28	15	27	30	30
log. der Meter	3,60741	3,62187	3,33030	3,60420	3,65067	3,64029
	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833	0,48833
log. der Par. F.	4,09574	4,11020	3,81863	4,09253	4,13900	4,12862
	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.
Relative Höhe	4049,6	4186,7	2139,4	4019,8	4473,7	4368,1
Höhe der unteren Stat.	570,8	407,0	2473,0	614,0	147,1	273,0
Localcorr.	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Feuchtigkeitscorr.	15,8	17,0	5,9	16,1	21,4	21,9
Absolut. Höhe	4643,3	4617,8	4625,4	4657,0	4649,3	4670,1
	Par. Fufs.	Par. Fufs,	Par. Fufs.	Par. Fufs.	Par. Fufs.	Par. Fufs.
Relative Höhe	12466,4	12888,4	6586,1	12374,6	13772,1	13446,8
Höhe der unteren Stat.	1757,2	1252,9	7613,0	1890,2	452,8	840,4
Localcorr.	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Feuchtigkeitscorr.	48,5	52,4	18,2	49,7	65,7	67,5
Absolute Höhe	14294,1	14215,7	14239,3	14336,5	14312,6	14376,7

Mittel 4643,82 Meter. 14295,8 Par. Fufs.

Mittel aus beiden Beobachtungen 4640 Meter, 14284 Par. Fufs, 2380,7 Toisen.

Bemerkung. Die geographischen Positionen sind die Mittel aus den Beobachtungen von Oriani, Carlini, Coraboeuf u. v. Welden. Für Bern und Turin, von denen wir keine Beobachtungen über die Feuchtigkeit an diesem Tage hatten, wurde dieselbe = 57 angenommen, was das Mittel aus den vier anderen Stationen ist.

Digitized by Google

Die Localcorrection von 7,1 M. = 22 P. F., welche in der vorhergehenden Berechnung angebracht wurde, ist durch folgenden Umstand nöthig geworden. Der sehr schmale und kurze Kamm, welcher die Höchste Spitze des Monte-Rosa bildet, hat ganz oben zwei kleine Hervorragungen; wir glaubten anfangs, sie hätten gleiche Höhe; wir überzeugten uns aber, als wir diesen Kamm erstiegen hatten, dafs die Spitze *A*, welche in geringer Entfernung westlich von uns lag etwas höher war, als die Spitze *B* auf der wir uns befanden. Wir waren von der erstern durch einige Einzahnungen im Kamme, die theilweise mit Eis überzogen waren, getrennt; dieses und die allgemeine Steilheit des Terrains verhinderten uns bis dorthin vorzugehen.

Wir bestimmten diese geringe Höhendifferenz auf zweierlei Weise. Auf dem Gipfel selbst fanden wir, dafs der vierte Theil der Differenz, den wir mit dem Verticalkreise schätzten und durch eine horizontale Linie auf unseren Stock projicirten = 5 Fufs war, was im Ganzen 20 Fufs ergeben würde; dann wiederholten wir die Bestimmung dieser Gröfse, indem wir am Fufse der steilen Wände der höchsten Spitze bei 4528 M. auf dem Schnee eine kleine Basis mafsen; dieses Verfahren ergab uns 24 Fufs für die Höhendifferenz zwischen den beiden kleinen Spitzen *A* und *B*. Wir haben daher für die letztere, auf der unser Barometer aufgestellt war im Mittel eine Localcorrection von 22 Fufs = 7,1 M. angenommen.

Die Höhe dieses Gipfels war zu wiederholten Malen trigonometrisch bestimmt worden, nämlich von Saussure, Oriani, Carlini und Plana, Coraboeuf, v. Welden und Berchtold. Delcros hat (*Ann. météor. de la France* 3. Jahrg.) ein Mittel aus sämmtlichen trigonometrischen Beobachtungen abgeleitet und dafür 4639,6 M. erhalten [1]).

1) Saussure erhielt 2430 Toisen = 4736 M. Diese Zahl, welche offenbar zu hoch ist, wurde nicht in das oben angeführte trigonometrische Mittel aufgenommen. Die Höhe, welche Domherr Berchtold fand, ist 4637 M. Sie war, als Hr. Delcros sein Mittel berechnete, noch nicht publicirt, sie würde jedoch dasselbe nicht um einen Meter ändern.

Digitized by Google

Die Resultate unserer barometrischen Bestimmungen stimmen demnach ungemein gut mit dem trigonometrischen Mittel überein. Wir dürfen dieses günstige Verhältnifs wohl dem Umstande zuschreiben, dafs bereits mehrere Tage vorher ein sehr gleichmäfsiges Wetter geherrscht hatte und dafs unsere correspondirenden Stationen den Monte-Rosa nach allen Seiten und in sehr verschiedenen Höhen umgaben. Die gröfsten Abweichungen von dem mittlern Resultate, welche die Berechnungen nach den einzelnen Stationen zeigen, betragen ± 30 M.

Man erhält demnach für die Höhe des Monte-Rosa, welcher nach dem Mont-Blanc der höchste Punkt der Alpen ist, im Mittel aus den trigonometrischen und barometrischen Messungen

4640 M. 14284 Par. F. 2380,7 Toisen. —

Die Barometerbeobachtungen auf dem Gipfel der Vincentpyramide wurden am 12. Sept. 1^h p. m. ausgeführt; wir fanden

Barometer auf 0 reducirt 459,80 M. M.
Temperatur der Luft — 5,0° C.
Befeuchtetes Thermometer — 5,7° C.
Relative Feuchtigkeit 83.

Die Resultate der Berechnungen nach den einzelnen correspondirenden Stationen ergaben folgende Höhen:

	Meter.	Par. F.		Meter.	Par. F.
Vincenthütte	4229,6	13020,5	Aosta	4242,5	13060,3
Genf	4222,2	12997,9	Mailand	4220,1	12991,1
St. Bernhard	4205,6	12946,8	Turin	4224,2	13003,8.

Mittel 4224 M. 13003 Par. F. 2167,2 Toisen.

Wir haben noch in der folgenden Tabelle die Resultate für die übrigen Gipfel des Monte-Rosa zusammengestellt. Diese mittleren Werthe sind theils aus den früheren Bestimmungen von v. Welden und Zumstein, theils aus einigen Winkeln abgeleitet, welche wir selbst auf den Firnmeeren in der Nähe der Gipfel gemessen haben. Wir werden später Gelegenheit haben die näheren Erörterungen

Digitized by Google

der verschiedenen Beobachtungen mitzutheilen. Die Gipfel folgen sich von Norden nach Süden.

		Meter.	Par. F.			Meter.	Par. F.
1.	Nordende	4597	14153	5.	Parrotspitze	4440	13668
2.	Höchste Spitze	4640	14284	6.	Ludwigshöhe	4337	13350
3.	Zumsteinspitze	4569	14064	7.	Schwarzhorn	4295	13220
4.	Signalkuppe	4562	14044	8.	Balmenhorn	4245	13070
				9.	Vincentpyramide	4224	13003.

VII. *Versuch, die Ursache der Thermo-Elektricität zu erklären; von A. F. Svanberg.*

(Aus einer zu Upsala besonders erschienenen akademischen Gelegenheitsschrift, die, vor längerer Zeit vom Hrn. Verf. mitgetheilt, schon zur Aufnahme in Bd. 85 d. Ann. bestimmt war, bisher aber noch nicht Platz finden konnte.)

Die nächste Ursache aller elektrischen Ströme ist das, was man elektromotorische Kraft nennt. Sie scheint gleichbedeutend oder wenigstens proportional zu seyn mit der Summe aller Unterschiede, welche, an den Berührungsstellen der in der geschlossenen Kette befindlichen heterogenen Körper, zwischen den elektrischen Dichtigkeiten stattfinden. Diese Ansicht scheint nämlich theils an sich natürlich, und ist auch theils durch die von Kohlrausch an der Daniell'schen Kette ausgeführten Messungen bestätigt worden.

Versucht man diese Ansicht zur Erklärung der thermoelektrischen Erscheinungen anzuwenden, so scheint es bei erster Betrachtung unmöglich zu seyn. Denn das für Metalle geltende elektromotorische Gesetz lautet: *Mittelbare oder unmittelbare metallische Berührung giebt gleichen Unterschied in deren elektrischen Dichtigkeit.* In einer geschlossenen Kette von lauter Metallen würde also die Kraft welche die Elektricität an einer Stelle in Circulation versetzte, gleich seyn mit der Kraft, welche sie in entgegen-

Digitized by Google

gesetzter Richtung forttriebe, und folglich würde kein andauernder Strom entstehen können.

Bekanntlich ist die Contact-Elektricität äufserst schwach, so dafs sie blofs nach Vergröfserung durch Multiplication mittelst eines Condensators gemessen werden kann. Wenn sie defsungeachtet eine grofse Menge circulirender Elektricität, d. h. einen starken Strom, zu geben vermag, so rührt diefs wohl von der grofsen Schnelligkeit her, mit welcher die Elektricität sich in der Kette bewegt. Aber Keiner darf sich darüber wundern, dafs man nicht im Stande war, mit demselben Instrument (dem Condensator) die kleinen Variationen wahrzunehmen, welche die an sich schon so unbedeutende Contact-Elektricität aller Wahrscheinlichkeit nach mit der Temperatur erleidet. Denn mehr als dieser Annahme bedarf es nicht, um die Ursache der thermo-elektrischen Ströme zu erklären. Dafs die thermo-elektromotorische Kraft sehr schwach ist, wissen wir aus Pouillet's und Wheatstone's übereinstimmenden Messungen; beide fanden dieselben bei einem Temperatur-Unterschiede von 100 Graden C. zwischen den Löthstellen einer Thermokette aus Wismuth und Antimon nur gleich $\frac{1}{95}$ der elektromotorischen Kraft einer Daniell'schen Kette. Wegen dieser geringen Triebkraft wird der entstehende elektrische Strom unmerklich, so bald nicht der Widerstand äufserst gering ist, was der Fall ist bei den blofs metallischen Ketten, wo der thermo-elektrische Strom hat beobachtet werden können.

Dafs die Contact-Elektricität zwischen zwei Körpern *A* und *B* ihren Werth ändert mit der Temperatur, könnte möglicherweise dadurch geschehen, dafs *A* und *B* ihre Stelle in der Contact-Reihe änderten. Mit dieser Annahme allein erklären sich aber die hier in Frage stehenden Erscheinungen noch nicht. Denn die ganze geschlossene Kette wäre nun blofs als aus heterogenen Metallen bestehend anzusehen, welche nach dem angenommenen Contactgesetz nicht vermögen, einen andauernden elektrischen Strom zu bilden.

Gewöhnlich stellt man das Gesetz der Contact-Elek-

Digitized by Google

tricität so dar, dafs man sagt: wenn A gegen B positiv, und B gegen C positiv ist, die Spannung zwischen A und B gleich $A-B$, und die zwischen B und C gleich $B-C$ ist, sey die Spannung von A und C mit dem dazwischen liegenden Körper B gleich der Summe jener beiden Spannungen, also gleich $A-C$ d. h. gleich solcher, als durch unmittelbare Berührung zwischen A und C entstehen würde.

Dasselbe Resultat erhält man auch, wenn die Spannung zwischen A und B ist $=f(A)-f(B)$. Dadurch wird nämlich die Spannung zwischen B und $C=f(B)-f(C)$, und die Summe beider: $=f(A)-f(C)$ d. h. gleich derselben Spannung, welche durch unmittelbare Berührung zwischen A und C entstehen würde. Ist hiebei die Functionsform f ungleich für verschiedene Temperaturen, so ist diefs dasselbe, wie wenn man sagte, die elektrische Spannung zwischen A und B bei der Temperatur t sey gleich $f(A, t)-f(B, t)$; es giebt auch bei mittelbarer oder unmittelbarer Berührung dieselbe elektrische Spannung, wenn die Berührungsstellen alle gleiche Temperaturen haben, sonst aber nicht

So wird in der Fig. 7 Taf. II. (Bd. 85 d. Ann.), welche eine Thermokette aus den Metallen A und B vorstellen mag, von deren Löthstellen die eine auf der Temperatur t, die andere auf der Temperatur a gehalten wird, die thermoelektromotorische Kraft:

$$K=f(A, t)-f(B, t)+f(B, a)-f(A, a).$$

Dieser Ausdruck setzt indefs voraus, dafs A und B ihre Stelle in der Contactreihe nicht ändern, wenn die Temperatur sich ändert. Sind A und B selbst Functionen der Temperatur, so wird im Allgemeinen:

$$K=\int_a^t \frac{d[f(A, \tau)-f(B, \tau)]}{d\tau} . d\tau \quad \ldots \quad (1)$$

wo

$$\frac{d[f(A, \tau)-f(B, \tau)]}{d\tau}$$

den partiellen Differential-Coëfficienten bezeichnet, wenn

Digitized by Google

blofs die Temperatur τ variirt, obwohl nicht dasjenige τ, welches *implicite* in A und B enthalten ist. Die Betrachtungen hier wiederzugeben, welche mich zum vorstehenden allgemeinen Ausdruck von K leiteten, halte ich nicht für nöthig.

Wenn τ blofs *implicite* in A und B eingeht, die Functionsform f aber übrigens unabhängig ist von der Temperatur, so wird in der Formel (1) der partielle Differential-Coëfficient $=0$ und folglich $K=0$, was mit der zuvor gemachten Bemerkung übereinstimmt, dafs diese Annahme allein die Ursache der thermo-elektrischen Ströme nicht zu erklären vermag. Ebenso erhellt, dafs, wenn $t=a$, d. h. beide Berührungsstellen dieselbe Temperatur haben, auch $K=0$ wird, oder kein Strom entsteht, wie wir aus Erfahrung wissen.

Bezeichnen K_1 und K_2 die thermo-elektromotorischen Kräfte zwischen B und C, so wie zwischen A und C, wenn die Berührungsstellen auf denselben Temperaturen a und t gehalten werden, so ist:

$$K_1=\int_a^t \frac{d[f(B,\tau)-f(C,\tau)}{d\tau}\,.\,d\tau$$

$$K_2=\int_a^t \frac{d[f(A,\tau)-f(C,\tau)}{d\tau}\,.\,d\tau,$$

woraus endlich folgt

$$K_2=K+K_1.$$

Diesen Satz hat man schon lange als aus Erfahrung bekannt angesehen; wir sehen hier, dafs die Formel (1) ihn richtig wiedergiebt.

Da K eine Function von a und t ist, so kann man es durch $K(a,t)$ bezeichnen. Nun hat man im Allgemeinen:

$$\int_a^t=\int_a^\vartheta+\int_\vartheta^t$$

folglich enthält die Formel (1) auch das aus Becquerel's Versuchen bekannte Gesetz:

$$K(a,\ t)=K(a,\ \vartheta)+K(\vartheta,\ t).$$

Neb-

Digitized by Google

Nehmen wir in dem Folgenden an:

$$y' = \int_a^t \frac{df(A,\tau)}{d\tau} . d\tau \quad \ldots \quad (2)$$

$$y = \int_a^t \frac{df(B,\tau)}{d\tau} . d\tau \quad \ldots \quad (3),$$

und betrachten t als Abscisse, und y' und y als Ordinaten, so wird die Gleichung (2) eine von dem Metalle A, und die Gleichung (3) eine von dem Metalle B abhängige Curve vorstellen, welche beide einander und die Abscissenaxe in dem Punkte E schneiden, dessen Abscisse $OE = a$ ist. (Siehe Fig. 8 Taf. II. Bd. 85.)

Ueber die Natur dieser Curven weifs man nichts, nicht einmal, ob sie gegen die Abscissenaxe convex oder concav seyen. Die Schlüsse indefs, die wir in dem Folgenden daraus ziehen werden, sind davon unabhängig. Pp, welches $= y' - y$ ist, stellt die thermo-elektromotorische Kraft zwischen A und B vor, und wenn für $t > a$, A positiv ist gegen B, so mufs $PM > pm$ seyn, wie Fig. 8 zeigt. Wollte man eine ähnliche Curve für ein drittes Metall ziehen, welches bei der Temperatur a in der thermo-elektrischen Reihe zwischen A und B läge, so würde dieselbe zwischen EP und Ep liegen.

Sind die Metalle A, B von der Art, dafs die thermo-elektromotorische Kraft, wie z. B. beim Eisen und Kupfer, bei steigendem Werth von t, ein gewisses Maximum erreicht, um hernach wieder abzunehmen, Null zu werden, und sich umzukehren, so dafs A negativ gegen B wird, so müssen die Curven EP und Ep, die durch die Gleichungen (2) und (3) vorgestellt werden, einander in einem zweiten Punkte F schneiden, wie Fig. 9 Taf. II. Bd. 85 zeigt.

Nimmt man nun ein drittes, in der thermo-elektrischen Reihe zwischen A und B liegendes Metall, und errichtet die entsprechende Curve, so wissen wir, dafs sie bei E zwischen den beiden andern liegen mufs. Daraus erhellt nun, dafs die letztere Curve eine der beiden anderen in einem zwischen E und F liegenden Punkt schneiden mufs

Digitized by Google

und allerletzt in F. Diese beiden Metalle, deren entsprechende Curven diesen neuen Durchschnittspunkt haben, müssen folglich dieselbe Eigenschaft wie die Metalle A und B in Fig. 9 besitzen, oder es mufs, bei steigendem Werthe von t, eine Temperatur, geringer als die Abscisse des Punktes F, geben, bei welcher sich ihre gegenseitige Lage in der thermo-elektrischen Reihe ändert, so dafs der Strom seine Richtung umkehrt; diefs stimmt vollkommen mit dem, was Hankel aus seinen Versuchen schliefsen zu müssen glaubte.

Will man nach der vorhergehenden Figur die Curve construiren, deren Ordinate $= y' - y$ oder $= K$ ist, so mufs sie die t-Axe in den Punkten E und F schneiden, und dazwischen mufs es eine Temperatur Oh geben, bei welcher die thermo-elektromotorische Kraft ein Maximum Hh hat, wie die Fig. 10 Taf. II. Bd. 85 zeigt.

Wenn die Berührungspunkte der Metalle die Temperaturen a und t haben, so ist die elektromotorische Kraft des entstehenden Stroms, wie wir gesehen

$$= \int_a^t \frac{d[f(A, \tau) - f(B, \tau)]}{d\tau} . d\tau.$$

Ist z. B. $t = b$, so wird sie

$$= \int_a^b \frac{d[f(A, \tau) - f(B, \tau)]}{d\tau} . d\tau.$$

Die elektromotorische Kraft ferner, wenn die eine Löthstelle auf der Temperatur b und die andere auf t gehalten wird, ist:

$$= \int_b^t \frac{d[f(A, \tau) - f(B, \tau)]}{d\tau} . d\tau.$$

Aber im Allgemeinen ist

$$\int_b^t = \int_a^t - \int_a^b$$

folglich wird die Kraft im letzteren Falle gleich dem Un-

Digitized by Google

terschiede zwischen den beiden vorhergehenden. Wenn folglich, in Fig. 10, $Op=b$ genommen wird, so erhellt, dafs man die Curve erhalten wird, deren Ordinaten die thermo-elektromotorische Kraft bezeichnen, falls die eine Löthstelle in der Temperatur b und die andere in der t gehalten wird, sobald man von P eine Linie parallel mit der t-Axe zieht, und diese neue Linie zur Abscissenaxe nimmt. Auch erhellt leicht aus der Figur, dafs die Curve die neue Abscissenaxe in einem Punkte schneiden mufs, dessen Abscisse kleiner als OF ist. Die höhere Temperatur, bei welcher die thermo-elektromotorische Kraft vom Positiven ins Negative übergeht, und folglich der elektrische Strom seine Richtung umkehrt, mufs also nach der hier aufgestellten Theorie, nicht unveränderlich seyn, sondern immer desto niedriger, je höher a ist, wenn nur $a<Oh$.

Keiner von Denen, welche über die bei gewissen Thermoketten vorkommende Umkehrung des elektrischen Stroms experimentirt und geschrieben haben, hat je geargwöhnt, dafs diese Umkehrungstemperatur von der Temperatur der andern Löthstelle abhänge. Alle dagegen halten es für sehr interessant, für verschiedene Metallcombinationen diejenige Temperatur kennen zu lernen, bei welcher, wie sie sich äufsern, das eine Metall, verglichen mit dem anderen, aus dem Positiven ins Negative übergeht. Ist die hier aufgestellte Theorie richtig, so ist die Temperatur Oh, bei welcher die thermo-elektromotorische Kraft ein *Maximum* ist, die alleinig unveränderliche und von wirklichem Interesse.

Dafs die Temperatur OF von a abhänge, ist leicht durch Versuche zu erweisen. Zu dem Zweck liefs ich an den beiden Enden eines Eisendrahts aBt von einem Fufs Länge (Fig. 11 Taf. II. Bd. 85) zwei Kupferdrähte löthen, die mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden wurden. Die Löthstelle t wurde nun mittelst einer Lampe erhitzt und zwar so gemäfsigt, dafs der elektrische Strom bei t wohl vom Kupfer zum Eisen ging, aber sehr schwach und nahe am Umschlagen war. Wenn man nun a in eine Schale mit siedend heifsem Wasser steckte, so zeigte das Galva-

Digitized by Google

nometer augenblicklich eine Umkehrung des Stroms, während dieser seine ursprüngliche Richtung wieder bekam, so wie man die Schale mit Wasser bei a fortnahm.

Das Ergebnifs dieses Versuchs, welches aus theoretischen Gründen vorauszusehen war, spricht für die Richtigkeit unserer Theorie. Wir sehen, dafs wenn die Temperatur a oder OE (Fig. 10) erhöht wird, OF abnimmt um, bei steigendem Werth von a, mit Oh zusammenzufallen. Ist $a > Oh$, so wird $OF < a$ d. h. die Punkte E und F vertauschen ihre Lage. Nimmt man dagegen stets $t > a$ und a nicht kleiner als Oh, so kann eine Umkehrung des Stroms nicht mehr vorkommen.

Hat man eine Kette aus blofs einem Metall A, dessen beide Enden die Temperaturen a und t besitzen, so entsteht beim Schliefsen der Kette auch ein Thermostrom, dessen elektromotorische Kraft ist:

$$k = -\int_a^t \frac{df(A, \tau)}{d\tau} . d\tau + f(A_t, t) - f(A_a, a) \quad (4),$$

wobei ein positives k einen Strom vom kaltem zum warmen Metall bedeutet, ein negatives k den umgekehrten.

Wäre A unabhängig von τ, so würde diese Formel geben $k = o$. Da aber die Erfahrung zeigt, dafs wirklich ein Thermostrom entsteht, so folgt daraus, dafs das Metall A seine Stelle in der Contactreihe mit der Temperatur verändert.

Bezeichnet k' die elektromotorische Kraft für einen solchen Strom, wenn die Kette blofs aus dem Metalle B, statt des Metalles A, besteht, so ist ebenso

$$k' = -\int_a^t \frac{df(B, \tau)}{d\tau} . d\tau + f(B_t, t) - f(B_a, a)$$

woraus

$$k' - k = K + f(A_t, t) - f(A_a, a) - f(B_t, t) + fB_a, a)$$

oder

$$K = k' - k - f(A_t, t) + f(A_a, a) + f(B_t, t) - f(B_a, a).$$

Hieraus erhellt, dafs, wenn man auch weifs, k und k'

Digitized by Google

seyen positiv oder negativ d. h. die Thermoströme bei A und B seyen vom kalten zum warmen Metall gerichtet, es doch unmöglich ist, das Zeichen von K oder die Richtung des Stroms in Fig. 10 vorauszusagen.

Da die Formel (4) k als Function von a und t zugleich ergiebt, so wollen wir diese Gröfse mit $k(a, t)$ bezeichnen. Dann ist auch:

$$k(a, \vartheta) = -\int_a^{\vartheta} \frac{df(A, \tau)}{d\tau} . d\tau + f(A_\vartheta, \vartheta) - f(A_a, a)$$

$$k(\vartheta, t) = -\int_{\vartheta}^{t} \frac{df(A, \tau)}{d\tau} . d\tau + f(A_t, t) - f(A_\vartheta, \vartheta)$$

und daraus erhält man:

$$k(a, \vartheta) + k(\vartheta, t) = k(a, t).$$

Es ist leicht, bei thermo-elektrischen Strömen dieser Art die Richtung zu beobachten, aber ihre Stärke zu messen, ist schwerlich auszuführen, weil, wenn man die Kette schliefst, es unmöglich ist, die mit einander in Berührung kommenden Enden auf festen verschiedenen Temperaturen zu erhalten. Daher dürfte es wohl unmöglich seyn, das in der obigen Formel ausgedrückte Gesetz durch Versuche zu prüfen.

In dem Vorhergehenden ist ein Versuch gemacht, die Ursache der dynamischen Thermo-Elektricität zu erklären. Wie wir sehen, giebt diese Formel nicht nur die durch frühere Versuche schon bekannten Gesetze wieder, sondern sie ist auch im Stande verschiedene noch nicht durch Erfahrung bestätigte vorauszusagen. Diefs ist zwar keine sichere Probe von ihrer absoluten Zuverlässigkeit, aber doch immer eine von ihrer Wahrscheinlichkeit. Künftige Versuche müssen hierüber weiter aufklären.

Digitized by Google

VIII. *Ueber das in Schlesien am 28. Sept. d. J. (1852) sichtbare Meteor.*

In der *Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur* hielt am 27. Oct. d. J. Hr. G. v. Boguslawski einen Vortrag *über das Meteor vom 28. Sept. d. J. und über die mit Feuerkugeln herabfallenden Substanzen.* Die Erscheinungen der Feuerkugeln bei Tage und hellem Sonnenschein sind verhältnifsmäfsig selten beobachtet worden. Den von Chladni und v. Hoff gesammelten Nachrichten hierüber sind noch hinzuzufügen die Erscheinungen 73 v. Chr., dann n. Chr. 925 April 27., 1547 im Mai, 1554 Juni 11. u. 13., 1832 Mai 20., 1833 März 18., 1834 Mai 15., 1836 Aug. 20., 1837 Aug. 5., 1838 Mai 18., 1839 Nov. 9., 1846 März 22., 1848 Jan. 27., 1851 Jan. 8., und Jan. 16., 1852 Sept. 28. Von der Wahrnehmung der letzteren Erscheinung hier in Breslau war von dem Vortragenden bereits vor einiger Zeit eine Beschreibung in den hiesigen Zeitungen veröffentlicht worden, verbunden mit einer Aufforderung zu weiteren Mittheilungen über dieselbe. Dieser Aufforderung ist von so vielen Seiten und auf so bereitwillige Weise entsprochen worden, dafs Nachrichten über dieses Meteor von 35 verschiedenen Orten haben gesammelt werden können, deren Ergebnisse im Einzelnen mitgetheilt wurden. Es sind diefs aufser Breslau die Orte: Patschkau, Pschow, Turawa bei Oppeln, Lubschau bei Lublinitz, Stoberau bei Brieg, Scalung bei Constadt, Krickau bei Namslau, Minken zwischen Ohlau und Bernstadt, Wartenberg, Kierzno bei Kempen, Kurow und Skalmierzyce bei Ostrowo, Zmislow und Sosnica bei Krotoszyn, Kawicz bei Bojanowo, Posen, Guhrau, Grofs-Glogau, Schlaupp und Schuder bei Winzig, Klein-Rinnersdorf bei Lüben und Umgegend, Görlitz, Lauban, Goldberg, Hirschberg, Straupitz bei Hirschberg, Fischbach, Dyhrnfurth, Neukirch bei Breslau. Einen Meteorstein aufzufinden ist bisher nicht gelungen, doch spricht für die

Digitized by Google

aufsergewöhnliche Gröfse und Helligkeit des Meteors die Ausdehnung, über die hin es gesehen worden ist, von beinahe drei Breitegraden und anderthalb Längengraden. Durch eine Mittheilung aus Klein-Rinnersdorf veranlafst, wo sich noch mehr Umstände als an anderen Orten vereinigten, um das Niederfallen der Feuerkugel für sehr nahe zu halten, hatte der Vortragende eine Reise dahin unternommen, ohne dafs jedoch die Bemühungen zu einem Resultate führten. Es scheint, dafs das Meteor im Posenschen niedergefallen ist, da man in Posen dasselbe in südwestlicher, an fast allen andern Orten dagegen in nördlicher oder nordöstlicher Richtung sah: so dafs die meiste Wahrscheinlichkeit sich für die Gegend zwischen Bojanowo, Winzig und Posen darbietet. Die Zeitangabe ist an allen Orten nahezu übereinstimmend; nach einer Ermittelung des Hrn. Pfarrer Oswald zu Neukirch bei Breslau fand die Erscheinung um $8^h 28'$ mittl. Breslauer Zeit statt. Man beobachtete dieselbe überall bei völlig heiterm Himmel und hellem Sonnenschein. Der Feuerkugel folgte ein langer mit ihr verbundener Schweif. Eine Explosion ist nirgends, aufser in Hirschberg, vernommen worden. Die Höhe, in welcher das Meteor zuerst aufgeleuchtet ist, mufs bei der weiten Ausdehnung seiner Sichtbarkeit sehr bedeutend gewesen seyn, doch konnte dieselbe aus Mangel an genauen Angaben darüber nicht bestimmt werden. Auch die scheinbare Höhe war an den meisten Orten beträchtlich und die Richtung der Bewegung mehr oder weniger gegen den Horizont geneigt. Hr. v. Boguslawski bemerkte noch, dafs auch an den Abenden vor und nach dem 28. Sept. mehrere Erscheinungen ähnlicher Art wahrgenommen worden sind, so Sept. 26., Oct. 6., 10., 11., 16., knüpfte auch einige Bemerkungen über die relative Häufigkeit der Feuerkugeln in den verschiedenen Monaten daran an, und legte eine darauf bezügliche Uebersichtstabelle vor. Derselbe deutete schliefslich auf die Möglichkeit hin, dafs mit der Feuerkugel vom 28. Sept. eine solche Substanz niedergefallen seyn könne, welche bald nachher von Luft und Sonne aufgezehrt wor-

Digitized by Google

den sey, über welche Substanzen meist nur sehr unsichere Nachrichten vorhanden sind, die noch vielfach der Sichtung bedürfen.

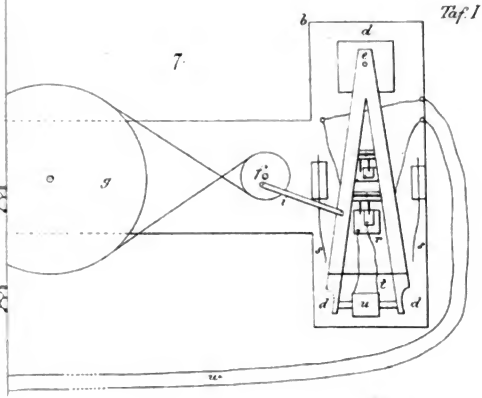
IX. *Nicht-Polarisation des Nordlichts.*

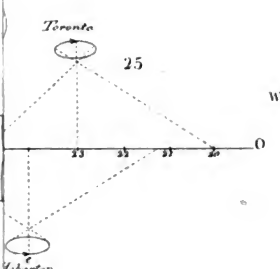
Im *Phil. Magazine* (1852, *Decemb.*) berichtet Hr. W. J. M. Rankine, zu Glasgow, dafs er während der letzten acht Monate häufig das Licht der Nordlichter mit einem Nicol untersucht, aber niemals eine Spur von Polarisation daran entdeckt habe. Zum Beweise, dafs diefs nicht etwa Folge der Schwäche des Lichts gewesen sey, setzt er hinzu, dafs er einst dasselbe Licht, welches direct frei von aller Polarisation war, nach der Reflexion von der Oberfläche eines Flusses, deutlich polarisirt gefunden habe. Die Thatsache der Nichtpolarisation des Nordlichts zeigt, dafs es nicht von Eiskrystallen reflectirt wird.

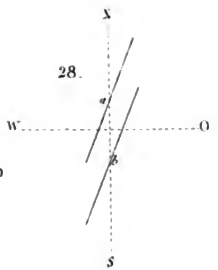
Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

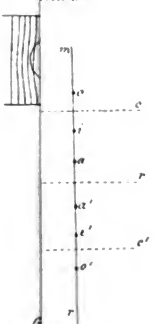
Digitized by Google

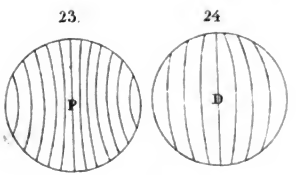
Täf. I











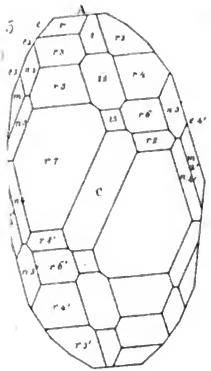
Ann. d. Phys. u. Chem. Ergänzungsbd. III. St. 1

Digitized by Google

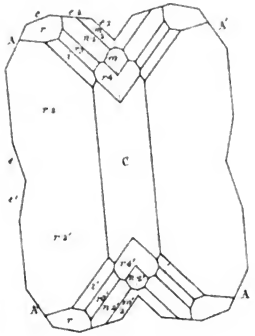
Digitized by Google

Taf II

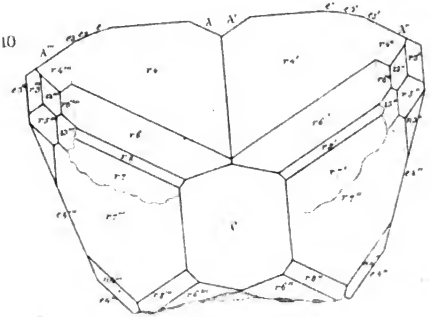
5

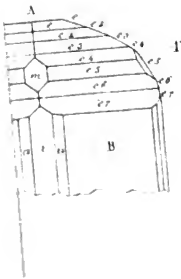


6

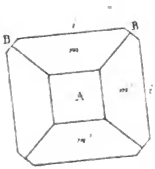


10

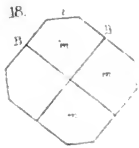




17.



18.



Ann. d. Phys. u. Chem. Ergänzungs. Bd. II. Tf. 2.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 6.

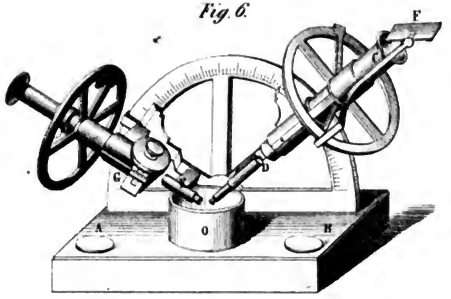
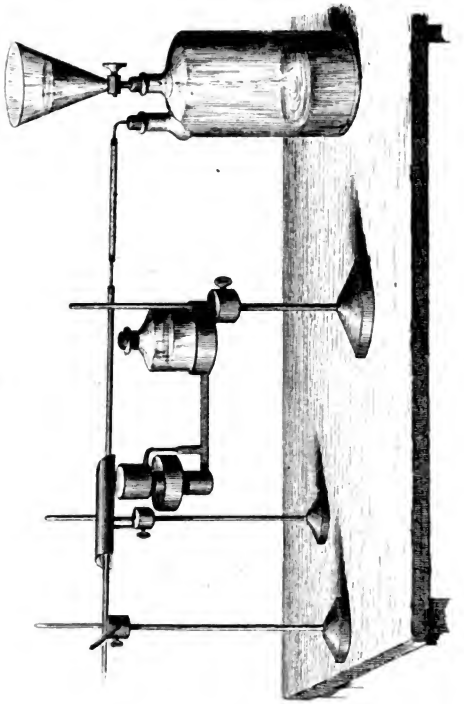


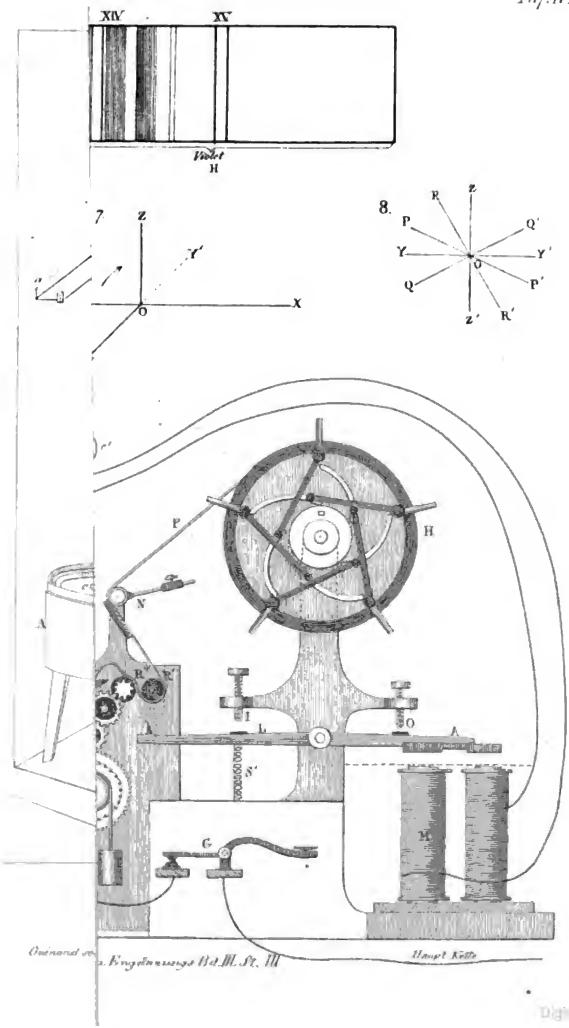
Fig. 7.



Digitized by Google

Digitized by Google

Taf. IV.



Ouinard sc. Ergebnissigs Bd. III. St. III

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

AUXILIARY COLLECTION

Physics
Library

Digitized by Google